



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Bølgekraft

Wave power

Henning Winsnes Astrup (Kandidatnr:100)

Bjørnar Byberg (Kandidatnr:104)

Christopher Faust (Kandidatnr:109)

Totalt antall sider inkludert forsiden: 73

Fornybar energi

FIN

Bente Johnsen Rygg

3. Juni 2019

Jeg bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle

kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. *Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 10.*

Forord

Denne oppgaven er skrevet av 3 studenter fra Høgskolen på Vestlandet som avslutning på bachelorutdanningen. Vi har arbeidet med bacheloroppgaven over to semestre, der mesteparten av innsatsen og arbeidet er foretatt siste del av semesteret.

Når vi skulle velge problemstilling for temaet vårt ville vi se nærmere på hvorfor bølgekraft ikke var en større bestanddel av den norske energiindustrien og hvorfor man hørte så lite om det. Dette gjorde at vi kom frem til problemstillingen og underproblemstillingene våre.

Gjennom vår veileder Bente Johnsen Rygg fikk vi kjennskap til Geir Arne Solheim og Havkraft AS. Vi har også vært i kontakt med to forskere fra SINTEF, én fra marinteknikk ved NTNU og én fra Innovasjon Norge.

Vi ønsker å takke Geir Arne Solheim for et spennende og informativt intervju. Bachelorgruppen vil også benytte anledningen til å takke vår veileder Bente Johnsen Rygg for godt samarbeid og gode veiledninger i løpet av våren. Vi vil også takke Sverre Steen fra marinteknikk ved NTNU, Ivar Fylling, Karl Kaasen fra SINTEF, seniorrådgiver Rune Henjesand fra Innovasjon Norge og Sigve Næss i BKK, for deres deltakelse.

Abstract

Norway is an oil nation, built up in part by the winnings from the oil- and gas industry. The oil and gas deposits have led to exceptional wealth and build the welfare state we know. But the wealth came at a price. The refining and usage of oil has a direct or indirect consequence on our climate, resulting in catastrophic natural disasters and there like. We as a oil nation do have a duty towards our earth and the people that inhabit it. We must take into consideration greener energy alternatives and promote a sustainable energy industry, for future generations to be able to live on the same planet.

We therefore chose to examine the usage of wave power in the Norwegian energy industry. Wave energy appears to be an exciting and unused energy resource to use, to achieve an increase in green energy.

In this Bachelor thesis we cover the history, technologies, subsidies and challenges tied to wave power as an energy technology. To define our thesis, we chose to corner our research question, and ended up with the following final research question: “Why hasn’t the expansion potential of wave power had a bigger development in Norway?”.

To answer our research question, we conducted 3 comprehensive interviews with employees from different companies in the energy sector and contacted several professionals from the institutions of NTNU and SINTEF by mail. The interviews were held in Sogndal and Raudeberg, whereas the last one was carried out over video conference. We also conducted a literature analysis/study to find information to use in our theory section and discussion.

The results of our interviews and the answers we got by mail gave us clear insights into the current situation regarding wave power in Norway. It showed us that science was sceptical towards wave power as energy technology and rather favoured wind and the long-standing waterpower, whereas the private and public sector showed to be more optimistic. Especially chief executive officer of Havkraft AS Geir Arne Solheim optimistically looks towards a growing energy industry with wave power in the front seat, even though its current development stage is troubled by various challenges in the form of economical issues, wreckage, waves as varying energy resource et cetera. The pessimism among scientists build upon these challenges and they are experienced as a barrier for many wave power entrepreneurs. For wave power to become lucrative both economical and in matters of energy production, one must solve these challenges or circumvent them. As of today, wave power will not have any potential for expansion in Norway.

Sammendrag

Norge er en oljenasjon som i stor grad har blitt bygd opp av olje- og gassnæringen. Dette har ført til rikdom og videre til flere velferdsgoder. Men rikdommen har kommet med en pris. Oljen bidrar direkte eller indirekte til klimaendringer og tilhørende katastrofale hendelser. Vi som oljenasjon har et ansvar rettet mot kloden og menneskene som lever på den. For at fremtidige generasjoner skal kunne leve på samme kloden må vi ta i betraktning grønnere energialternativer og satse på en bærekraftig energinæring. Vi har derfor valgt å undersøke bølgekraftens ståsted i norsk kraftindustri. Bølgeenergi fremstår som en spennende og uutnyttet energikilde som kan bli viktig for å oppnå en grønn vekst.

I denne bacheloroppgaven tar vi for oss historien, teknologiene, støtteordninger og utfordringer knyttet til bølgekraft. For å avgrense oppgaven har vi valgt å spisse problemstillingen, og endte opp med følgende: "Hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge?"

For å svare på problemstillingen har vi gjennomført 3 omfattende intervjuer med aktører innenfor bransjen og kontaktet fagpersoner fra NTNU og SINTEF over e-post. Intervjuene har blitt gjennomført i løpet av 3 ikke sammenhengende dager. Intervjuene ble holdt i Sogndal og Raudeberg, der den siste ble gjennomført over videosamtale. Vi har også gjennomført en litteraturstudie for å finne informasjon til å bruke i kunnskapsstatus og diskusjon.

Resultatene fra intervjuene og svarene vi fikk på e-post ga oss klare trekk på hva som er dagens situasjon innen bølgekraft. Det viste seg at vitenskapen stiller seg skeptisk til bølgekraft som energiteknologi og heller favoriserer vindkraft og den tradisjonsrike vannkraften, mens den private og offentlige sektoren er mer optimistiske. Spesielt administrerende direktør til Havkraft AS Geir Arne Solheim se for seg en voksende kraftindustri med bølgekraft i forsetet, selv om teknologiens nåværende utviklingstrinn er utfordrende i form av dårlig økonomisk avkastning, havarering og bølger som varierende energiresurs. Pessimismen blant vitenskapen bygger på disse utfordringer og de oppleves som en barriere for mange bølgekraftaktører. For at bølgekraft skal fremstå som drivverdige må utfordringene løses eller omgås. Sånn som situasjonen er i dag vil det ikke bli et utbyggingspotensial for bølgekraft i Norge.

Innhold

1. Bakgrunn	7
2. Innledning	9
2.1 Problemstilling og avgrensning	9
3. Metode.....	10
3.1 Valg av metode.....	10
3.2 Valg av respondentene	11
3.3 Intervjuguide	12
3.4 Gjennomføring av intervjuene	12
3.5 Litteraturstudie	13
3.6 Omarbeiding av intervjudata.....	14
4. Kunnskapsstatus.....	15
4.1 Kort om bølger	15
4.2 Historie	18
4.2.1 De tidlige årene	18
.....	20
4.2.2 Oljekrise og nye tider.....	20
4.2.4 Prosjekter i nyere tid	21
4.4 Teknologier.....	22
4.4.1 Punktabsorbator.....	22
.....	23
4.4.2 Linjeabsorbator	23
4.4.3 Kilerennekraftverk.....	24
4.4.4 Svingende vannsøyle	25
4.5 Bølgekraftprosjekter i Norge	25
4.5.1 Havkraft AS.....	26
4.5.2 Waves4Power	29
4.5.3 Status Bølgekraftprosjekter 2019	29
4.6 utfordringer knyttet til etablering av Bølgekraft	31
4.6.1 Grunnleggende kriterier	31
4.6.2 utfordringer knyttet til bølgekraft og bølgeenergi	32
4.6.3 utfordringen ved store bølger	33
4.6.4 Økonomi.....	35
4.6.5 Marked og konkurranse.....	36
4.6.6 Virkninger på miljø og samfunn	37
5. Politisk satsning på Bølgekraft	38

5.1 Bølgekraft i politikken	38
5.2 Enova.....	41
5.3 Innovasjon Norge	42
6. Resultat	43
6.1 Bølgekraft i dag og i fremtiden	45
6.1.1 Utfordringer bølgekraft står overfor i dag.....	47
6.1.2 Teknologien	48
6.2 Markedet for bølgekraft.....	50
6.3 Finansiering av bølgekraftprosjekter	52
6.4 Politikken for utviklingen	53
7. Drøfting	54
7.1 Etablering av bølgekraftverk i Norge	54
7.2 Dagens situasjon for bølgekraft.....	56
7.3 Kraftmarkedet for fornybar energi.....	59
8. Konklusjon	60
9. Referanser	62
Vedlegg	66

1. Bakgrunn

*Solar energy is one form of income on which we can afford to live. Here is another proposal:
the use of power from the waves at sea -S.H. Salter*

Helt siden 1799 har det blitt eksperimentert med bølgene, hovedsakelig på et akademisk nivå. Siden den gang har flere tusen patenter blitt registrert og delvis blitt virkeliggjort i form av pilotanlegg og kommersielle prosjekter. Interessen for produksjon av elektrisitet ved hjelp av hydrodynamikken var avtagende med innførelsen av de fossile brennstoffene kull og olje, og overgangen til den industrielle tidsalder opp imot dagens samfunn.

Derimot vendte interessen tilbake mot fornybare energier under oljekrisen i 1973. Store deler av industrien støttet seg på fossile brennstoffer som energigivende ressurs, og det akademiske samfunnet var tvunget til å lete etter alternative energikilder. Dette resulterte i en rekke studier og prosjekter knyttet til hydrodynamisk bevegelse av vannmassene i havet. Artikkelen *Wave Power* som ble publisert i 1974, var et viktig bidrag for å øke satsningen på bølgekraft. Den bidro til å heve interessen betraktelig og blir i dag sett på som et revolusjonerende. Artikkelen tok for seg en innførelse i hydrodynamikken, samt en utfyllende beskrivelse av et apparat for utnyttelsen av førstnevnte. Apparatet skulle senere populært bli kalt for *Salter Duck*, oppkalt etter oppfinneren Stephen Salter (Salter, 1974, s. 720-724). I årene etter oljekrisen, så skulle interessen avta betydelig, på grunn av at oljeprisen var i ferd med å normalisere seg.

På 90-tallet opp mot tusenårsskiftet og samtiden, var bølgekraft igjen satt på dagsordenen. Med en stadig voksende trussel knyttet til økende klimagassutslipp, samt stigende temperaturer og en høy energietterspørsel, var energisektoren i endring. Overgangen fra et fossilt til et bærekraftig samfunn var hovedgrunnen for overgangen til fornybare energikilder. Bølgekraft var igjen blitt interessant for verdenssamfunnet. Spesielt i Europa var dette tilfellet ettersom den Europeiske Unionen (EU) inkluderte Bølgekraft i sitt forskning- og utviklingsprogram, noe som ble et videre grunnlag for mer enn 30 prosjekter av forskjellig omfang opp mot 2014. Dette inkluderte også Waves4power som videre vil bli presentert senere i oppgaven (António F. O. Falcão, 2014, s. 7).

Ifølge European Marine Energy Centre (EMEC), er det per dags dato litt over 200 bedrifter globalt, både privat og offentlig finansiert, som utvikler seg innen bølgekraft eller har

konsepter i arbeid som tar i bruk hydrodynamikken i havet. Bare i Norge er det registrert 14 bedrifter, blant annet Aker Solutions som egentlig er kjent for sin kompetanse innenfor olje og gassnæringen. Hvor aktive bedriftene er innen bølgekraft blir behandlet i kunnskapsstatusen (EMEC, 2017).

På global skala rommer bølgene enorme energiresurser som kan nyttiggjøres. Anslagene gjort av institusjoner og forskere over hvor mye energi som kan bli ekstrahert og nyttiggjort varierer. I følge Mørk et.al (2010, s.7) ligger energipotensialet på omtrent 2958 GW. Dette er i nærheten av 25 000 TWh/år, som ekskluderer områder som er under 5 kW/m og/eller dekket med is. I Nord- og Vest-Europa alene ligger energipotensiale på omtrent 286 GW, eller 2505 TWh/år. Hva som realistisk kan utvinnes fremstår som langt mindre. (Mørk, G et.al., 2010, s. 7).

Energipotensialet for enkelte land er avhengig av forskjellige faktorer. Umiddelbar nærhet til hav er avgjørende, men også hvilket hav landet grenser til. Østersjøen er for eksempel et lite avskåret hav og har derfor et lite energipotensial i motsetning til Atlanterhavet som er preget av sterke vestavinder. Ideelle plasseringer for bølgekraftutvinning har tilgang til hav med gode hydrodynamiske egenskaper, det vil si sterke vinder og energirike bølger. Disse egenskapene er anbefalt dersom man vurderer en eventuell utbygging av bølgekraft i området.

Hva gjør bølgene så interessante for energiutvinning? Ved energiomformingen fra sol til vind og fra vind til bølgen oppstår det en fortetning av energistrømmen (målt i w/m^2). Dette gjør at bølge-energistrømningen er tettere enn energistrømningen til både solen og vinden. Dette resulterer i mer energi per m^2 (Falnes, 2018).

Det har lenge vært relevant forskning og eksperimentering med energikilder knyttet til havet. Globalt sett er havenergi en fellesbetegnelse for energikilder tilknyttet havet og er generelt en uutnyttet ressurs, selv om jorda består til 2/3 av hav. Fra et politisk perspektiv blir land som Danmark, Irland, Norge, Portugal, Sverige og Storbritannia sett på som foregangsland innen bølgekraft. Disse landene har i mer enn 25 år drevet aktivt med forskning og utvikling innen fornybare energikilder. Også innen bølgekraft, der flere av de nevnte land kan fremvise store energiresurser (Clement et.al., 2002. s. 410).

Norge er et av de landene som har forsket mye på bølgekraft, men er mest kjent for sine enorme fornybare energiresurser i form av vann- og vindkraft. Her er vannkraft ryggraden til den norske energi-industrien, og står for hele 94,3 % av den norske produksjonskapasiteten (Olje- og energidepartementet, 2019). Andre fornybare energikilder, eksempelvis vind- og

varmekraft står for 5,6 %. Bølgekraft og andre teknologier som tar i bruk bevegelse, trykk eller temperatur av vannmassene utgjør bare en brøkdel av de norske energiproduserende teknologier. Dette tyder ikke bare på lite satsing i feltet, men også relativ uvitenhet, koblet med mangel på finansieringsvilje og teknologisk utvikling. Tar vi i betraktning Norges geografi og klima, fremstår det som uforståelig at det ikke eksisterer mer næring.

Norge har den lengste kystlinjen i Europa og verdens nest lengste kystlinje etter Canada. En kyst som er eksponert for sterke vestavinder og resulterende sterk hydrodynamisk bevegelse, som rommer store energiressurser i nærheten av 400 TWh/år (Clement et.al., 2002, s. 411). Videre er Norge i besittelse av et økonomisk havområde på omtrent 803 993 km² som strekker seg fra Nordsjøen opp mot Norskehavet og Barentshavet. Teoretisk kan havområdet og kystlinjen bidra til at fordelingen blant de energiproduserende teknologier endres betraktelig og bølgekraft blir en primær energikilde. Hva er det da som stopper det norske næringslivet i å satse på bølgekraft? Hvorfor er markedet så lite attraktivt og hva kan være utfordringene med etablering av bølgekraft? Dette er noen av spørsmålene vi vil ta for oss i oppgaven vår.

2. Innledning

2.1 Problemstilling og avgrensning

Det norske samfunnet er i dag preget av de enorme oljeinntektene, som vi har opparbeidet oss. Samfunnet har profittert av oljefunnene på 70-tallet der vi har fått folk i arbeid, skapt innovasjonsmuligheter og høy industrivekst. Selv om den norske arven har bidratt til å øke velferden, har den vært lite miljøfremmende. Dette har videre ført til at det har blitt satt et større fokus på de klimatiske forandringene knyttet til oljeutvinning og resulterende utslipp. Utvinning og produksjon av oljen foregår ikke bare på norsk sokkel, men også i andre land der norske oljeselskap driver virksomhet. Klimaforandringer forårsaket av fartøy og industri er ikke avgrenset til en region eller et land, men har en global konsekvens. I denne oppgaven har vi derfor valgt å se nærmere på bølgekraft, som fremstår som en relativt uutnyttet grønn energiressurs og en spennende teknologi i kystregioner. Temaet for oppgaven vil være bølgekraft som teknologi og marked. Dette vil være knyttet til følgende problemstilling:

Hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge?

Oppsummert i følgende underproblemstillinger:

Hva er utfordringene knyttet til etablering av bølgekraft i Norge?

Hva er kriteriene for at bølgekraft skal kunne lykkes i det norske kraftmarkedet?

Hvor stor innflytelse har kraftmarkedet i Norge på bølgekraftutviklingen?

Videre i oppgaven skal vi ta for oss metoden, som baserer seg på intervju, og litteraturstudie som utgjør grunnlaget for kunnskapsstatusen.

3. Metode

Dette kapitlet omhandler metoden vi har brukt for å komme frem til resultatene våre. I denne oppgaven har vi brukt en kvalitativ forskningsmetode, med dybdeintervju og litteraturstudie for å svare på vår problemstilling. I følge de nasjonale forskningsetiske komiteene brukes en kvalitativ forskningsmetode til å studere opplevelsen eller oppfatningen av et bestemt fenomen (bølgekraft), mens en kvantitativ forskningsmetode brukes til å kartlegge forekomsten eller årsaken til fenomenet (De Nasjonale Forskningsetiske Komiteene, 2010)

Ifølge Prof. Dr. Heinke Rübken og Kathrin Wetzel fra universitet i Oldenburg, Tyskland er den kvantitative forskningsmetoden en objektiv tilnærming, som undersøker årsak og virkning, mens den kvalitative forskningsmetoden er mer subjektiv, interpretativ og setter mennesket og den subjektive forståelsen i forgrunnen. Målet med en kvalitativ forskningsmetode er det å beskrive og forstå det en undersøker (Rübken, Prof.Dr. & Wetzel, 2016, s.12-13).

Vi har også tatt hensyn til at ved et dybdeintervju så kan man ikke trekke beslutninger, på grunn av et mulig ikke-representativt utvalg. Derfor kan det bli feil å generalisere et resultat ettersom utvalget er for lite og skjevt. Vi har ikke hatt dyptgående kontakt med aktører som ikke har klart steget fra pilot til kommersielt bruk, noe som kan resultere i feilkilder. Derfor går vi ut ifra at informasjonen vi har fått fra de valgte respondentene angående temaet er noe av grunnen til at mange står fast eller må avslutte prosjektet. I dette kapitlet vil vi beskrive de prosessene vi har brukt for å hente inn informasjon og hvordan vi har behandlet disse i etterkant.

3.1 Valg av metode

Den kvalitative forskningsmetoden, intervjuet og litteraturstudiet skal gi oss et helhetlig bilde av sammenhenger, nyanser og meninger innenfor bølgekraft. Vi har som mål å få en dypere forståelse av selve temaet og valgt problemstilling. I løpet av forskningsprosessen tok vi kontakt med forskjellige intervjuobjekter. Vi ville høre synspunkter fra ulike sider av

samfunnet som direkte eller indirekte har kompetanse innen bølgekraft. Vi har derav valgt å ta kontakt med en eller flere aktører i det private, offentlige og akademiske sektoren som enten jobber eller har kunnskap om temaene knyttet til problemstillingen.

Dette ville gi oss et helhetlig bilde av den nåværende situasjon innen bølgekraftindustrien. Ifølge Dalen (2004) er formålet med intervju å innhente beskrivende informasjon om hvordan respondentene opplever sin situasjon, og særlig for å få innblikk i deres erfaringer, tanker og følelser (Arntzen & Tolsby, 2010, s. 66-67). Dette var grunnen til at vi valgte å gjennomføre intervju med noen av respondentene våre. Vi har hatt mulighet til å få til tre intervjuer, to personlig og en over videosamtale. De resterende respondenter ble kontaktet per e-post og fikk tilsendt spørsmål. Dette har blitt gjort fordi respondentene fremstår som mindre viktig for oppgaven, og skulle først og fremst bidra med fagkunnskap og bekrefte våre funn. Formidling av fakta kan gjøres skriftlig og det fremstår derfor ikke som nødvendig å gjennomføre et intervju. Derimot bør erfaringer og resulterende kunnskap formidles muntlig.

I tillegg fremstår de personlige Intervjuene som både viktig og overkommelig med hensyn til geografisk nærhet. Innovasjon Norge (avd. Sogn -og Fjordane) ligger i Sogndal og var derfor enkelt å komme i kontakt med. Havkraft AS er også nærliggende og et godt eksempel på en bedrift spesialisert innen bølgekraftteknologi. Videosamtalen regnes også som viktig på grunn av BKKs plass i næringslivet og rolle som investor. Intervjuene skaper i tillegg en dialog som åpner for å utdype eller lar oss komme med oppfølgingsspørsmål.

3.2 Valg av respondentene

For å oppnå et representativt resultat og svar på valgt problemstilling, ville vi få frem flere sider av bølgekraftnæringen. Ved å velge respondentene våre fra det akademiske, private og offentlige mener vi at vi har klart å få frem dette. Vi tok kontakt med forskningsinstitusjonene NTNU og SINTEF, den offentlige støtteaktøren Innovasjon Norge og Norges ledende aktør innen bølgekraft, Havkraft AS. I tillegg fikk kontakt med kraftnæringen representert av BKK. Respondentene ble valgt av oss, og kontaktet på e-post. Her fikk vi opprettet en dialog der vi introduserte oss selv og fikk presentert oppgaven.

Vi har lagt vekt på hvilken type stilling de har på sin arbeidsplass, der vi kan få en bedre oversikt over deres rolle og relabilitet til å svare på vår problemstilling. I tillegg er utdanningen viktig da den gjenspeiler deres kompetanse og erfaringer innen temaet. Vi forventer at respondentene har forskjellige syn på bølgekraft. Dette er på grunn av variasjoner

i kompetanse og erfaringer. I tillegg så har de teoretiske og praktiske erfaringene mye å si for respondentenes oppfatning av bølgekraft.

3.3 Intervjuguide

Vi har utarbeidet intervjuguidene forskjellig, alt etter hvem respondentene var, hvilket kunnskapsgrunnlag de har og hvilke erfaringer de kan fremvise. Intervjuguidene er like i struktur, men differensieres i innhold. Innholdet må være forskjellig fra respondent til respondent ettersom de har forskjellige roller og kunnskapsbakgrunn. Vi har lagt vekt på at det ikke skal stilles de samme spørsmålene til respondenter knyttet til en offentlig støtteordning som en hadde stilt en professor ved NTNU. Dessuten er spørsmålene utarbeidet slik at respondenten selv kan velge hva de mener er viktig å trekke frem. Åpne spørsmål er viktig for at intervjuet skal være effektivt, og for at det skal skapes en innholdsrik dialog. Det er alltid mer tilrådelig å skape en dialog, enn en monolog, spesielt i et intervju som har som mål å belyse en problemstilling. Intervjuguiden ble sendt til både intervjudeltakerne og de øvrige respondentene. Dette ble gjort for at de øvrige respondentene skal kunne svare på spørsmålene og respondentene som ble intervjuet kunne forberede seg.

Følgende temaer skal sikre en viss struktur i intervjuet. Temaene er derfor valgt ut ifra det som er mest aktuelt knyttet til observasjonene gjort i litteraturstudie. Intervjuspørsmålene er derfor delt opp i disse fire temaene:

- Politikk
- Økonomi
- Teknologi
- Marked

Hvert gruppe medlem tar kontakt med den valgte respondenten, der de utarbeider spørsmål som er relevant i forhold til problemstillingen. Her vil de ikke være noen fasit på antall spørsmål og innholdet vil variere, avhengig av hvem som har utarbeidet spørsmålene. Dermed skaper vi en tilknytting til respondenten som medfører at det er enklere å stille oppfølgende spørsmål. Se vedlegg 6 for oversikt.

3.4 Gjennomføring av intervjuene

Alle intervjuene ble gjennomført i perioden mars til mai. Vi gjennomførte til sammen tre intervjuer, to av dem ble gjennomført personlig ved respondentenes arbeidsplass og en over video-samtale. Vi korresponderte også med tre forskere, der vi sendte spørsmål og fikk svar

sendt tilbake. De to personlige intervjuene ble gjennomført med Rune Henjesand (Innovasjon Norge) og Geir Arne Solheim (Havkraft AS) der det første intervjuet varte i 1 time og det andre i 2 timer. Videosamtalen ble gjennomført med Sigve Næss og varte 35 minutter. Alle gruppemedlemmer var tilstede under de personlige intervjuene og videosamtalen, der alle var aktive under dialogen. Selv om hvert gruppemedlem var aktiv, hadde den som utformet intervjuguiden ansvaret for å lede intervjuet. De andre gruppemedlemmer observerte, og deretter kom med oppfølgings spørsmål og bemerkninger for å holde samtalen gående og skape en innholdsrik dialog. Vi vil også peke på at mangelen på anonymitet hos respondentene som ble intervjuet kanskje har ført til at svarene ikke var ærlig og heller representerte en overordnet mening enn et personlig synspunkt. Anonymiseringen ville uansett ikke vær av betydning, ettersom respondentene samtykker i å ikke være anonymisert. Dessuten fremstår anonymiteten som vanskelig å ivareta, siden bølgekraftmiljøet i Norge er relativt lite.

Intervjuguidene ble utarbeidet og sendt på forhånd som nevnt i forrige underkapittel, men på grunn av oppbygningen til intervjuguidene var det enkelt å videreføre spørringen og utdype om nødvendig. Under intervjuene brukte vi lydopptak fra datamaskin og mobil for å kunne rette fokus mot respondenten.

3.5 Litteraturstudie

Vi har valgt å gjennomføre en litteraturstudie for å bygge opp kunnskapsgrunnlaget vårt. Ved å bruke litteraturstudiet som metode får vi benyttet eksisterende litteratur og forskning av valgt tema som samsvarer med problemstillingen. Gjennom å undersøke litteratur i fysisk eller digital form samler en inn informasjon som en senere kan bruke som bakgrunn for sitt eget arbeid. Utfordringen med å velge denne type metode er det å finne relevant forskning som stemmer med valgt problemstilling. I tillegg baserer en grundig litteraturstudie seg på at du finner nyere litteratur med god kvalitet. Under skriveprosessen samlet vi inn litteratur der vi blant annet brukte Google Scholar og HVL Open som informasjonskilde, i tillegg til google sin ordinære søkemotor. Google Scholar fremstår som en plass for utveksling av akademisk arbeid og HVL Open er arkivet til Høgskolen på Vestlandet og inneholder bacheloroppgaver med karakter A eller B. Ved å søke på bølgekraft både på engelsk, tysk og norsk har vi også funnet en rekke informative kilder som står i forbindelse med temaet. Noen av kildene har vært engelskspråklig, hovedsakelig fordi det finnes mye kunnskap og videre utvikling rundt bølgekraft i andre land, og fordi forskning ofte skjer med et internasjonalt publikum. Dette gjør det lettere å finne relevant informasjon på engelsk i forhold til norsk. Ettersom

problemstillingen omhandler bølgekraftutviklingen i Norge har vi brukt mye avisartikler og informasjon fra norske nettsider til å bygge opp forståelsen av bølgekraften i Norge.

3.6 Omarbeiding av intervjudata

Ved fullført intervju startet transkriberingen fra lydopptak til tekstform. Lydfilen fra intervjuet med Innovasjon Norge og Rune Henjesand ble ødelagt ved en teknisk feil ved innspillingen. Vi fikk derimot reparert 08:00 min av 1:13:00 av lydfilen ved hjelp av et dataprogram. Disse 8 minuttene ble videre transkribert som normalt. Dessuten skrev vi ned notat med det vi husket fra intervjuet. Videre utforsket vi materialet som har blitt omarbeidet der dette blir utredet under resultatdelen. Dette gjorde vi for å få en bedre forståelse av det som ble sagt. Deler av transkriberingen som virket interessant i forbindelse med problemstillingen ble markert med gul utheving og videre satt til en passelig kontekst i resultatdelen. Intervjuet med administrerende direktør Geir Arne Solheim ble også transkribert, der alt han sa ble skrevet ned i kronologisk rekkefølge. Vi leste nøye gjennom det som ble skrevet og valgte informasjonen som passet opp mot vår problemstilling. Vi var også i kontakt med prosjektleder Sigve Næss fra BKK gjennom en videokonferanse. Her fulgte vi samme prosedyre som nevnt tidligere.

Videre vil kunnskapsstatusen sammen med intervjuene gi en faglig tyngde, som gjør at det er mulig å trekke en konklusjon basert på den valgte problemstillingen.

4. Kunnskapsstatus

4.1 Kort om bølger

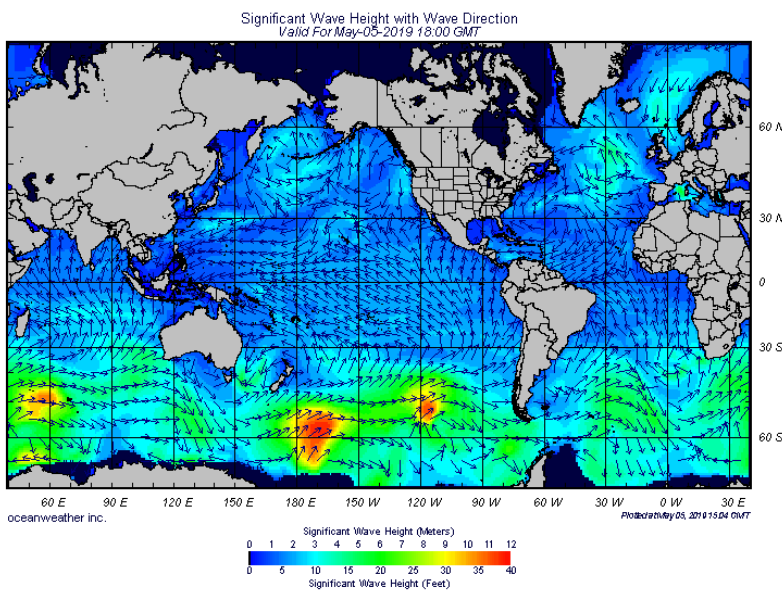
Bølger er svingninger på havoverflaten som brer seg fra et sted til et annet over en periode. Vi har mekaniske bølger som havbølger, og elektromagnetiske bølger (Ormestad, 2018). Vi har også bølger som ikke styres av vinden som tidevannsbølger som dannes ved differansen mellom høyvann og lavvann, tsunamier som formes ved undersjøisk jordskjelv og bølger som dannes ved skipstrafikk. Til slutt har vi skred eller meteo-tsunamier som utvikles ved brå endringer i lufttrykket (Odd Henrik Sælen, Jan Erik Weber & Knut Barthel, 2018).

Mekanismer som er knyttet til sammenhengen mellom vindens og bølgens bevegelse er komplisert og ikke fullt forstått per dags dato, men det er tre hovedprinsipper som beskriver dette.

- Luft som strømmer over havet skaper skjærspenning, som videre resulterer i at bølger formes og vokser.
- Turbulent luft i nærheten av havoverflaten skaper varierende skjærspenninger og trykkfluktasjoner. Her vil svingningene være i fase med eksisterende bølger, som fører til at bølger utvikles.
- Ved et punkt vil bølgen nå en viss størrelse, dette vil gjøre at vinden kan utøve en sterk kraft på motvindsiden av bølgen, som videre fører til at bølgen vokser (Boyle, 2012, s. 369).

De fleste bølger dannes ved at vinden blåser over et stille havområde, der det etterhvert dannes krusninger. Dette skyldes friksjon mellom vinden og havoverflaten. Vinden og krusningene gjør at det dannes overtrykk og undertrykk på bølgen. Økt vind fører til at det blir flyttet mer energi fra vinden til bølgene. Bølgene vil derav ta opp mer av energien fra vinden, som medfører økt bølgelengde, bølgehøyde og bølgefart. Dette vil bidra til at bølgen blir brattere og mer energirik. Når bølgehastigheten er lik vindhastigheten vil det ikke lenger være noen energioverføring fra vinden til bølgen. Dette gjør at bølgene vil oppnå sin maksimale hastighet og størrelse ved den gitte vindhastigheten. Bølger er sammensatte og varierende, men bølgens størrelse og energiinnhold bestemmes hovedsakelig av vindhastighet, vindretning og bunntopografi (Myrhaug & Pettersen, 2011, s 1-34).

Havbølgene er generelt større på den sørlige halvkule (se figur 1), fordi landmassene er mindre som resulterer i lengre havstrekninger. Lengre havstrekninger fører til at bølgen kan hente mer energi fra vinden. Vestavindsbeltet på den nordlige halvkule gir også store bølger. I Nordsjøen og Norskehavet vil effektiviteten til bølgene ligge på 40-60 kW/m (årgjennomsnittet). Kartet gir et godt visuelt bilde på bølgenes bevegelse, der de store havbølgene forekommer på den sørlig halvkule (se figur 1). Som nevnt tidligere har Norge en lang kystlinje som har et stort og uutnyttet energipotensial. Per dags dato har vi kun to bølgekraftverk som er i drift. Hvordan vil situasjonen være i fremtiden? Skal Norge satse på

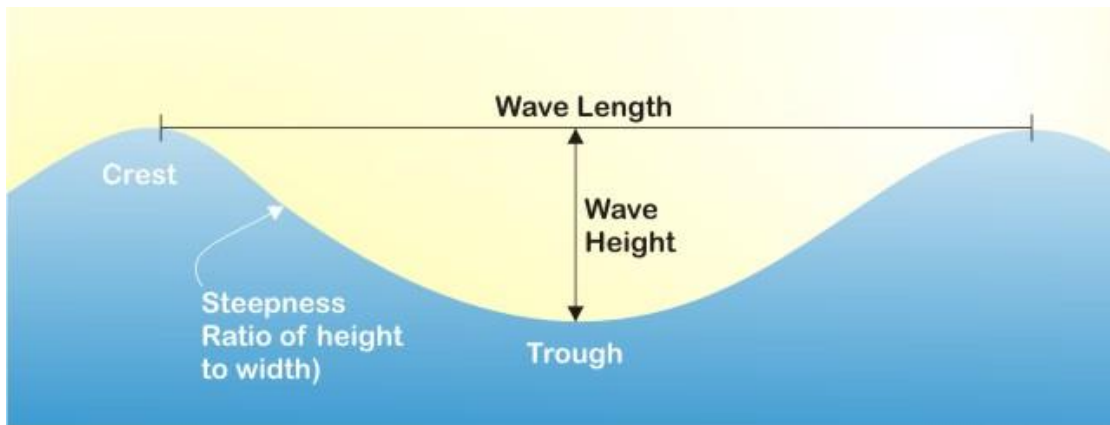


Figur 1: Signifikant bølgehøyde på verdensbasis (Kilde <https://www.oceanweather.com/data/>)

som kommer av høydeforsyning av vannoverflaten (heving av bølgen over og under stille vannsnivået), og kinetisk energi der vannpartiklene beveger seg i sirkulære baner på dypt vann. Her vil summen av potensiell -og kinetisk energi til sammen utgjøre selve bølgen, altså mekanisk energi (Dag Myrhaug & Bjørnar Pettersen, 2011, s 1-34).

bølgekraftverk, eller skal vi være et land som satser på teknologiutvikling. Skal vi utvikle og selge teknologien til utlandet? Uansett hva utfallet blir, så er vi nødt til å bidra til en grønn og bærekraftig vekst i verden. For å svare på vår problemstilling er det nyttig å ha en grunnleggende forståelse av de fysiske prinsippene bak en bølge.

Bølger består av potensiell energi



Figur 2: Bølgeparametere (kilde: www.azocleantech.com)

En bølge består av en bølgelengde (fra bølgetopp til bølgetopp), bølgehøyde (differansen mellom bølgetopp og bølgebunn) og perioden T (tiden det tar for bølgen å bevege seg fra topp til topp eller fra bunn til bunn). Når en bølge beveger seg mot land vil den miste energiinnholdet, på grunn av friksjonen mellom havbunnen og vannpartiklene. Ved plassering av bølgekraftverk er det viktig å tenke på at energitettheten til en bølge reduseres når den brytes, og omdannes til varme. Med utgangspunkt i følgende lønner det seg å plassere bølgekraftverk der bølgene i liten grad blir påvirket av topografien. Bølgene har derfor høyere energiinnhold ute på havet enn i nærheten til land (Nye fornybare energikilder, 2001, s 43-44).

Bølger består av kretsende partikler med vann. I vannoverflaten er partiklene samme størrelse som bølgehøyden. Ettersom man går dypere ned mot havbunnen vil de sirkulære vannpartiklene bli mindre. De sirkulære vannpartiklene vil minke eksponentielt med dybden. Dersom man skal konstruere en gjenstand som måler energien i bølgene, er det nyttig å vite at 95 % av bølgeenergien ligger i laget mellom havoverflaten og havbunnen ($h = \lambda/4$). I Nord-atlanteren er den gjennomsnittlige bølgelengden 150 m, det vil si at man trenger et bølgekraftanlegg på 38m for å utnytte 95% av energien fra de innkomne bølgene. Dette anlegget vil være altfor kostbar, og den gunstige dybden for de fleste slike anlegg er 4-10 m (Boyle, 2012, s. 375). Vi skal se nærmere på dimensjonering og geografiske begrensninger senere i oppgaven, og se hvilken påvirkning dette har på lønnsomheten.

For å kunne beregne hvor i verden det lønner seg å plassere et kraftverk med tanke på energieffektivitet, finnes det en matematisk formel. Formelen tar for seg effekten i en bølgefront per lengdeenhet. Den tilsier at det er gunstig å plassere et bølgekraftverk der effekten er større enn 50 kW/m. I dette eksemplet har vi forenklet den opprinnelige formelen ved å gange med 1/16, i og med at vi tar utgangspunkt i havbølger.

$$P = \frac{\alpha g^2 H^2 T}{4\pi} \text{ KW/m}$$

α =bølgefrontparameter (1/16 for havbølger)

ρ =sjøvannets tetthet

g =tyngdeakselerasjon (ca. 9,81m/s²)

H =signifikant bølgehøyde

T =Bølgeperiode i sekunder

(Boyle, 2012, s. 369).

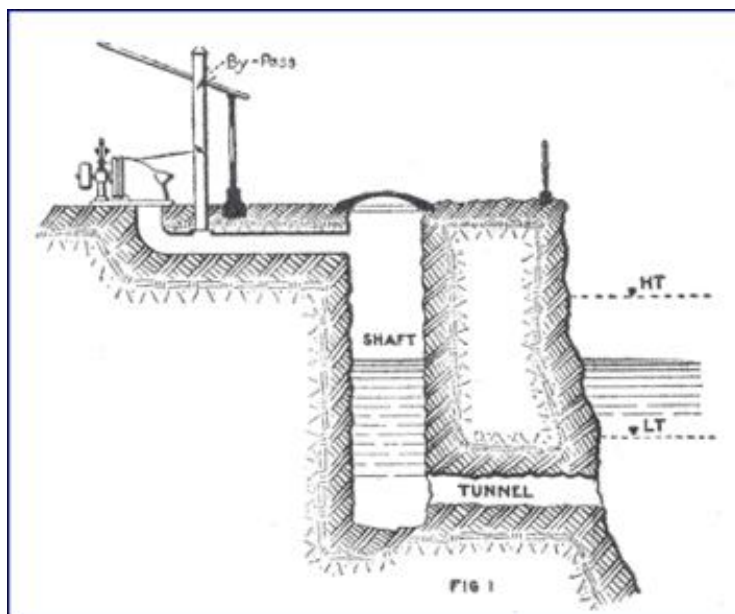
4.2 Historie

Bølgekraft er en fornybar energikilde som stadig er i utvikling. Sammenlignet med vindkraft som har eksistert i flere årtusener, så er denne teknologien relativt ny. I dette kapitlet blir bølgekraftens utvikling belyst, fra de tidlige årene og frem til nyere tider. For å forstå hvorfor bølgekraft ikke har lyktes i dag ser vi på teknologiens utvikling fra et historisk perspektiv.

4.2.1 De tidlige årene

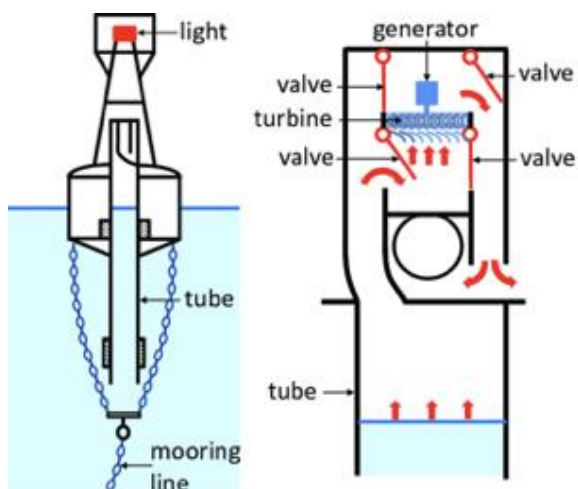
Det å konvertere energien i bølger til nyttbar energi har inspirert mennesker i lang tid. I 1799 tok Pierre- Simon Girard og hans sønn patent på det første bølgekraftverket. Det oppfølgende århundre skulle vise seg til å bli grunnlaget til en mengde nye patenter, delvis som følge av Pierre- Simon Girard sitt arbeid (António F. O. Falcão, 2014, side 2).

Et annet nevneverdig teknologisk gjennombrudd var bølgekraftverket til Bochaux-Praceique som ble konstruert i 1910 og brukt til oppvarming og elektrisitet i huset til Mr. Bochaux i Royan (se figur 3). Dette bølgekraftverket regnes å være det første bølgekraftverket, der man tok i bruk det svingende vannsøyleprinsippet (oscillating water column). Turbinen forsynte huset til Bochaux med 1 kW med lys og kraft. Turbinen ble drevet av lufttrykk som var pumpet av svingningene i havet i den vertikale sylindren (Falnes, 2005).



Figur 3: Bølgekraftverket til Bochaux-Praceique (Kilde www.wavepowerlab.weebly)

Oppfinnelsene i Frankrike skulle også inspirere forskere og oppfinnere i andre land, for eksempel i Storbritannia. Storbritannia er et land med en langstrakt kyst og store omkringende havområder som preges av sterke vinder, og dermed kan fremvise store bølger. I Storbritannia har det aktivt blitt drevet med forskning og teknologiutvikling innen bølgekraft i mange år, noe som har resultert i en mengde patenter. Eksempelvis ble det i tidsperioden 1855-1973 registrert 340 patenter i Storbritannia alene (Vosough, 2007 s.60). Hadde det ikke vært for den japanske marineoffiseren Yoshio Masudo, ville utviklingen antageligvis vært på et annet utviklingstrinn i Storbritannia.



Figur 4: Yoshio Masudo navigasjonsbøye:(kilde: www.Resarchgate.net)

Yoshio Masudo regnes som en pioner når det gjelder utvikling og forskning på bølgekraft. Han startet å jobbe på 1940-tallet og regnes som oppfinneren av den svingende vannsøylen (OWC). I moderne tid beskrives han som bølgeenergiens far (Boyle, 2012). Japaneren utviklet en navigasjonsbøye (OWC) som var kommersielt i bruk i Japan siden 1965.

I 1976 utviklet Yoshio Masudo et større flytende bølgekraftverk (80 m * 20 m), som ble navnsatt Kaimei (se figur 5). Kaimei benytter seg av flere svingende vannsøylor, hvor hver av de er utstyrt med ulike luftturbiner. Denne teknologien skulle derimot vise seg til å ikke bli en suksess. Noe som skyldtes at den nye teknologien var på et tidlig stadium, og at det krevdes forbedringer. Senere har teknologien og historien knyttet til Kaimei prosjektet inspirert fremtidige bølgekraftaktører. En av disse er Geir Arne Solheim fra Havkraft AS som har tatt i bruk noen av de samme prinsippene for å utvikle sitt eget prosjekt. Vi skal senere ta for oss Solheims prosjekter der vi blant annet skal se på H-WEC systemet knyttet til fisketrålen MS Havkraft.



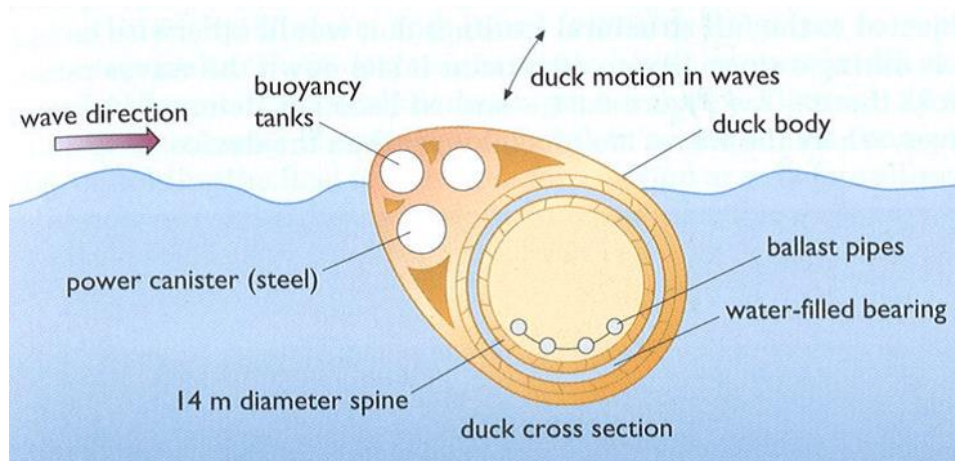
Bilde 1: Kaimei bølgekraftverk (Kilde: www.Resarchgate.net)

4.2.2 Oljekrise og nye tider

Ved oljekrisen i 1973 reiste det seg stor interesse rundt fornybar energi, spesielt bølgekraft. I året 1974 ble artikkelen *Wave Power* av Stephen Salter publisert i den anerkjente journalen *Nature*, noe som skulle fremme bølgekraft internasjonalt. Det finnes flere historiske referanser om bølgekraftens utvikling før 1970, men den moderne bølgekraftforskningen ble startet på 70-tallet av Stephen Salter og arbeidet hans som reaksjon på oljekrisen. Artikkelen beskrev en oppfinnelse som populært ble kalt for Salters Duck, der hensikten var å konvertere bølgeenergi til elektrisitet. Gjennom den kontrollerte testfasen kom det frem at konstruksjonen til Stephen Salter kunne stoppe 90 % av bølgebevegelsen og konvertere 90% til elektrisitet, som gir en effektivitet på 81 % (Vosough, 2007 s.60).

Som reaksjon på *Wave Power* og selve oljekrisen startet også den britiske regjeringen sin satsning på bølgekraft. Kort tid etter dette gjorde den norske regjeringen det samme. Den internasjonale satsingen på bølgekraft skulle resultere i en rekke konferanser. Den første konferansen foregikk i England Canterbury i 1976, og Heathrow i 1978. Dette ble etterfulgt

av to store internasjonale konferanser *Power from sea waves* i Edinburgh og *The First Symposium on Wave Energy Utilization 4* i Gøteborg (António F. O. Falcão, 2014, side 3).



Figur 5: Salter's Ducks (kilde: <https://baonguyen1994.wordpress.com>)

Som følge av konferansene ble det i Norge aktivt forsket og utviklet under statlig regi. I perioden 1978-82 fikk Norges forskningsmiljø støtte fra olje- og energidepartementet til bølgeenergiforskning, i form av finansielle midler. Den store interessen knyttet til miljø og ressurs spørsmålet på 1970-tallet ble etter hvert borte med slutten av 1980-årene da oljeprisen sank og som konsekvens ble støtten til bølgekraft ble kuttet (Falnes & Lillebekken, 2018).

4.2.4 Prosjekter i nyere tid

Selskapet Norwave konstruerte i 1985 protypen TACHAN med 350 kW effekt. TACHAN er et bølgekraftverk der den kinetiske energien fra bølgene blir konvertert til potensiell energi. Den potensielle energien blir senere omgjort til elektrisitet ved å la vannet som ligger i reservoaret komme tilbake til sjøen, via en lavtliggende Kaplan turbinsystem. Dette bølgekraftverket er et kilerennekraftverk og var i drift frem til 1991. I denne perioden leverte den 350 kW med strøm til det norske nettet. (Boyle, 2012, s. 365).

I 1994 startet brødrene Langset AS utvikling av bølgekraftverket ConWEC (Controlled Wave Energy Converter), som benytter seg av svingende vannsøyle-prinsippet. For å optimalisere energieffektiviteten, tok man i bruk en fasestyring av den svingende vannsøylen. Denne fasestyringen er en form for aktiv bølgeenergikonvertering.

ConWEC prøvde å effektivisere energikonverteringen i alle ledd, for å redusere installasjonskostnader og øke energiproduksjon. Bølgekraftverket benytter seg som regel av

bølgebevegelesene som nyttes mekanisk til å pumpe vann under trykk gjennom en turbin, som videre driver en elektrisk generator. Det viser seg at man taper energi i de ulike konverteringsleddene, noe som har en betydning for den totale virkningsgraden. I senere tid er det viet arbeid med ConWEC, med forsøk på en direkte konvertering av mekanisk energi til elektrisk energi, uten at man anvender en turbin. Dersom man skal lykkes med denne konverteringen må det utvikles en lineær generator. Når denne generatoren er på plass vil det føre til at installasjonskostnadene halveres, mens den totale virkningsgraden øker. (Nye fornybare energikilde, 2001, s.47-48).

Mange av teknologiene nevnt tidligere basere seg på en rekke grunnleggende design som vi skal presentere i neste underkapittel. I tillegg skal vi videre belyse noen av bølgekraftaktørene Norge har i dag, samt en beskrivelse av deres nåværende situasjon.

4.4 Teknologier

Det som er vanskelig med bølgekraft er å utvikle en teknologi der virkningsgraden er høy. Havet er komplisert og krever ulike teknologier, avhengig av lokasjon og bunntopografi. Per dags dato er det ingen fasit på hvordan et bølgekraftverk skal se ut. Derfor har det siden 1980 blitt registrert over 1000 patenter (António F. O. Falcão, 2014, side 2). Dette kan tyde på at bølgekraftaktørene møter på store utfordringer knyttet til utvikling av teknologien, der en felles løsning ikke lar seg gjennomføre. Noen av disse utfordringene omhandler blant annet økonomi og robusthet og står i sterk tilknytning til etablering av et bølgekraftverk. I dette kapitlet skal vi ta for oss fire ulike teknologier; punktabsorbator (bøye), linjeabsorbator, kilerennekraftverk og svingede vannsøyle. Her blir det belyst ulike sider ved teknologien.

4.4.1 Punktabsorbator

En punktabsorbator består av en flytende bøye som er festet til havbunnen med kabler. Bøyens horisontale bredde er mindre enn den innkomne bølgelengden (λ) (Boyle, 2012, s. 369). En punktabsorbator består av tre fragmenter, en bøye, en heveplate som er i kontakt med bøyen ved hjelp av en fleksibel line og et kraftuttak system (PTO) som sitter på innsiden av bøyen. (Rusch J. et al, 2015, s.1)

WEC (Wave Energy Converter) har ansvaret for å konvertere energien fra bølgen til nyttbar energi. Her er det vanlig å bruke PTO systemet som konverterer bevegelsen i havoverflaten til elektrisitet og transferere strømmen til kraftnettet. En punktabsorbator vil ligge og flyte i havoverflaten i takt med de innkomne bølgene. Fordelen med denne teknologien er at det er relativt lave installasjonskostnader og er enkelt å produsere. En punktabsorbator vil produsere en liten mengde energi sammenlignet med andre WEC teknologier (Kolios, Di Maio, Wang,

Cui & Sheng ,2018, s 1-2). Det har vært mye eksperimentering med denne teknologien, der Wave4power har kommet opp med en løsning som nærmer seg kommersielt bruk (se bilde 2).

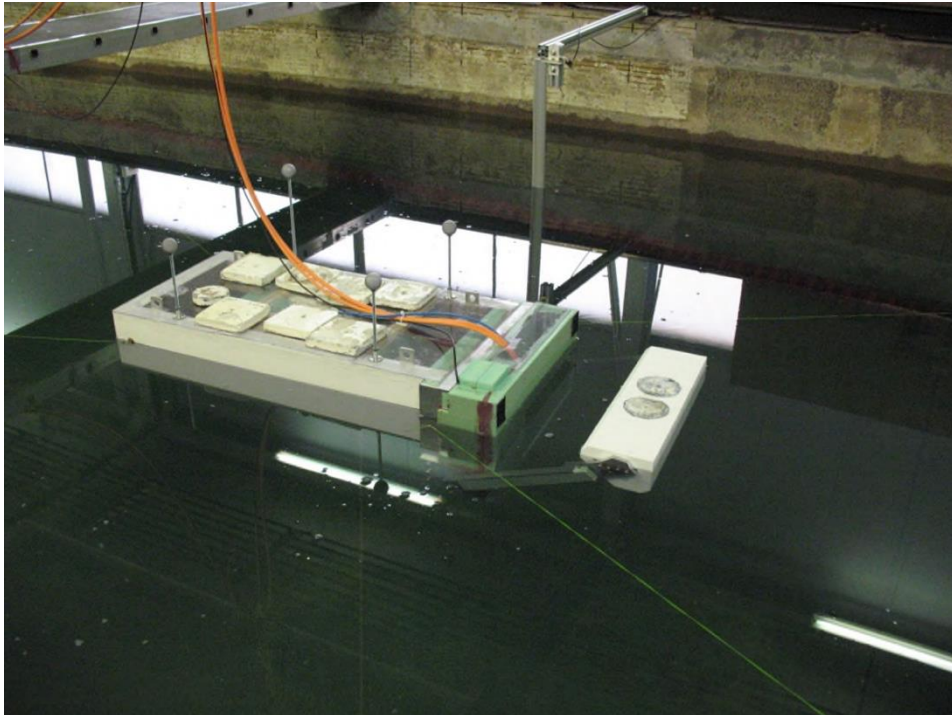


Bilde 2: Punktabsorbator-bøye Waves4Power (Kilde: www.waves4power.com)

4.4.2 Linjeabsorbator

En linjeabsorbator er en flytende sylinder bestående av flere hengslede ledd som omdanner energien i bølger til elektrisk energi. Her vil de innkomne bølgene treffe parallelt med absorbatoren som ligger i havoverflaten. Linjeabsorbatoren er festet med kabler til havbunnen som strekker seg til land (Boyle, 2012, s. 382). Stemplene til konstruksjonen pumper væske med høyt trykk via apparater som lagrer energi (akkumulatorene) gjennom hydrauliske motorer som videre driver generatoren. Ideelt sett vil anlegget ligge 5-10 km fra land og lokalisert der havdybden er rundt 50-60 meter (UngEnergi,2019).

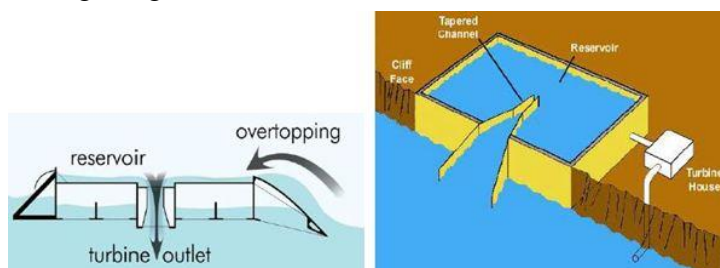
Aker Solutions' har utviklet (se figur 8) en prototype som de kaller Aker WEC som er en flytende linjeabsorbator. Installasjonen har blitt testet i et basseng, der det kommer frem at effektiviteten er høy dersom man har små bølger og liten hvis bølgene er store. Dette vil si at PTO-systemet ikke har god nok kapasitet til å utnytte bølger under ekstremvær (Infrastructure Access Reports, 2014). Dette kan fremstå som en utfordring dersom installasjonen ikke evner å utnytte store bølger under ekstremvær, og går dermed glipp av potensiell energi. Ved ekstreme tilfeller vil systemet havarere under det enorme presset. Dette kan føre med økonomiske konsekvenser som gjør prosjekt kostbart. Konsekvenser og utfordringer skal vi se nærmere på i underkapittel 4.6



Bilde 3: Linjeabsorbatoren til Aker Solutions (kilde: www.marinet2.euk)

4.4.3 Kilerennekraftverk

Et kilerennekraftverk består av kilerenne, vannmagasin og en kraftstasjon. Denne typen kraftverk utnytter energien i bølgene som treffer kysten og land. Innkomne bølger føres inn i kilen som videre resulterer i at vannstanden innerst i bassenget er høyest. Dette skyldes at kilen blir smalere desto lengre inn man kommer i vannmagasinet. (UngEnergi, 2019). Som nevnt tidligere i oppgaven har det eksistert et kilerennekraftverk i Toftestallen som i en kort periode var under kommersielt bruk i 1985 og senere ble ødelagt av ekstremvær. Ulempen med denne typen kraftverk er at den gjennomsnittlige bølgeenergien må være høy nok for å kunne skyve alt vannet i reservoaret. Prosjekter tilsvarende TACHAN krever en stor kapitalkostnad. Der man eksempelvis kan kombinere installasjonen med konvensjonelle moloer. Moloen er en bølgedemper der det er rolige forhold på baksiden, her vil det derav være gunstig å drive med fritidsaktiviteter som fiskeri og akvakultur (Giovanna Bevilacqua &

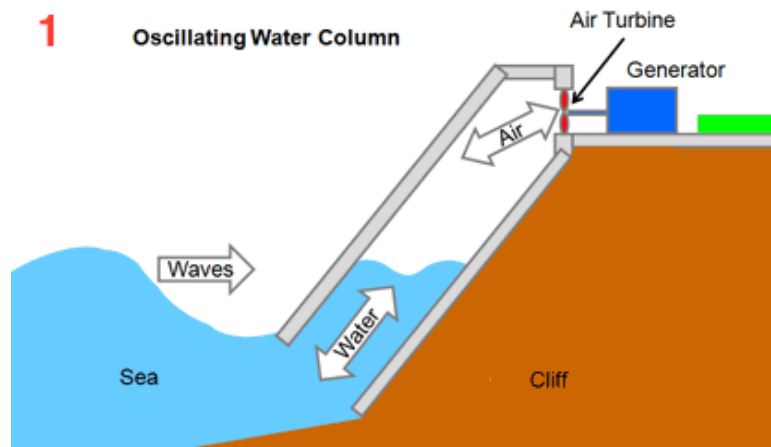


Figur 6: Kilerennekraftverk (kilde: www.researchgate.net)

Barbara Zanuttigh, 2011, s 21). En fordel med kilerennekraftverk er at den ligger på land og ikke ute i sjøen. Dette gjør at vi har en enkel tilgang til vedlikehold.

4.4.4 Svingende vannsøyle

En svingende vannsøyle (OWC) er en form for bølgekraft der man går fra mekanisk energi til elektrisk energi. Bølgene skaper endring i væsknivået i kammeret som gjør at lufttrykket varierer og resulterer i at luftturbinen drives. Når vannet i kammeret stiger dannes det overtrykk, mens når det synker dannes det undertrykk. Trykkvekslingen driver luftstrømmene inn og ut av svingkammeret og er koplet opp til en generator som skaper elektrisk energi. Wells turbin vil utnytte luftstrømmer uavhengig av retningen til luftstrømmen. (Nye fornybare energikilde, 2001, s.45). Vi skal i neste kapittel presentere et konsept innen bølgekraft som baserer seg på det svingende vannsøyleprinsipp. Konseptet er utarbeidet av Havkraft AS og gründer Geir Arne Solheim.



Figur 7: Vannsøyle (kilde: energysourcespd3.weebly)

4.5 Bølgekraftprosjekter i Norge

Det har over de siste tiårene vært mange privatpersoner, institusjoner og ulike aktører som har forsøkt eller som nå utvikler seg i bølgekraftindustrien i Norge. Etter å ha vært i kontakt med flere av disse har vi fått et overblikk og inntrykk over bransjen, og den har gitt oss et innblikk i industriens ståsted og utfordringer. Lite finansiering og pessimistiske investorer gjør at det å bygge opp en bølgekraftteknologi er veldig utfordrende. Dette får vi blant annet bekreftet av aktørene vi har vært i kontakt med, som Pontoon Power. Pontoon hevder de har en teknologi klar, men at utviklingen har stått fast på grunn av manglete støtte fra næringslivet og de offentlige støtteordningene. Dette er fundamentalt når aktøren skal investere i pilotfasen, da dette er den mest krevende prosessen økonomisk. Manglende økonomiske midler er en fellesnevner for mange av aktørene her i Norge, der de har vært stillestående på samme stadium over mange år. De møter på utfordringer på kanskje den viktigste delen av utviklingen, nemlig fullskalatesting av prototype. Støtte og økonomisk initiativ fra

næringslivet blir oftest fraværende da prosjektene ikke har den gjennomføringsevnen eller økonomisk lønnsomhet som er forventet ved etablering av en teknologi.

Vi har i tabell 1 kartlagt ulike bølgekraftaktører i Norge som både er i stadium ide, utvikling av prosjekt eller under kommersielt bruk. Det er 14 prosjekter som driver med bølgekraft i Norge, hvor de fleste har utviklet ideen sin videre fra en grunnteknologi. Punktabsorbator etterfulgt av kilerennekraftverk og bøyer er de mest brukte teknologien, utover dette blir det brukt egne utviklede ideer som baserer seg på andre bølgedynamiske mekanismer. Aktører i bransjen er, som forventet, på et ulikt stadium her i Norge når det kommer til utvikling.

Mange prosjekter har stoppet opp på grunn av økonomi og avventer fremdeles kapital og finansiering. Noen har fullført modelltesting i mindre skala, mens noen har hatt vellykkede modelltesting i fullskala i havet og ser mot neste steg.

Per dags dato er det bare en aktør som driver med kommersielt bruk av bølgekraftteknologi i Norge, Havkraft AS. Waves4Power er kommet langt på veien, men har fremdeles utfordringer knyttet til videre utvikling av prosjektet i form av økonomi og samarbeidspartnere. Uansett så har begge disse aktørene utviklet teknologier som er bærekraftig og videre fått teknologien til å bli anerkjent. Disse to bølgekraftaktørene sitter på hver sin spesielle historie, der veien har vært lang og utfordrende slik det ofte er i bølgekraftprosjekter. Vi har valgt å utdype oss spesielt i Havkraft AS ettersom dette prosjektet gjenspeiler utfordringene og suksessfaktorene innenfor bransjen

4.5.1 Havkraft AS

Havkraft AS jobber med å utvikle sin teknologi til å bli ledende innenfor bransjen og det globale kommersielle markedet ifølge Geir Arne Solheim. Selskapets administrerende direktør Geir Arne Solheim begynte allerede i 1998 med å utvikle ideen sin, og videre ble Havkraft AS i 2009 formelt etablert i et samarbeid mellom ulike investorer. Havkraft AS har medeiere Fjord Invest, Stadpower, Ulvesund Elektro og Kvernevik Engineering. Deres hovedkontor er lokalisert i Maritime park ved Raudeberg utenfor Måløy i Sogn- og Fjordane (Havkraft AS, 2019)

Havkraft sin teknologi Wave Energy Converter (H-WEC) har siden oppstart av pilottestingen i 2011, brukt mye tid og penger på å utvikle teknologien. Her legger de stor vekt på effekten H-WEC kan oppnå der et av hovedmålene er å redusere OPEX (driftsutgifter) og CAPEX (kapitalutgifter) til et minimum, noe som er svært krevende innenfor denne bransjen. H-WEC systemet satser ikke bare på effektivitet, men det blir også lagt vekt på lave

vedlikeholdskostnader knyttet til anlegget. Høyere effektivitet kombinert med lengre produksjonstid skal gi nok kraftproduksjon til å finansiere plattformer som kan overleve i de mest krevende havmiljøene i verden ifølge Havkraft AS. Hovedkriteriet for dette er at ingen bevegelige komponenter er i kontakt med havet, dette skaper som nevnt tidligere en mer bærekraftig OPEX og CAPEX for H-WEC (Havkraft AS, 2019).

Havkraft ble i Juli 2015 ferdig med testprosjektet av prototypen H-WEC der prislappen kom på 16 Millioner kroner. Prosjektet var vellykket der en full skala prototype med en effekt 200 kW ble testet over 4500 timer kontinuerlig. Dette ble gjennomførbart ved hjelp av MARINTEK (i dag SINTEF) som samarbeidspartner og bruk av deres testanlegg. En milepæl ble nådd i Juni 2017 da Havkraft sin første kontrakt ble sikret, der de skulle levere et 1 MW bølgekraftverk til en norsk kunde i samarbeid med HydroWave AS som er eid av Havkraft AS. H-WEC systemet kan bli integrert i en hybrid-løsning for fornybare marine systemer som har muligheten til å oppnå en høyere effekt og dermed bli mer lønnsomt (Havkraft AS, 2019).

Utviklingen av H-WEC systemet er blitt gjort gjennom et prosjekt der systemet ble testet ut på en gammel fisketråle, kalt MS Stålholm. Den ble i 2014 restaurert og omdøpt til MS Havkraft. På trålen er det blitt installert et 200 kW bølgekraftverk med fire 50 kW turbiner som er en fullskala Evolver system (Havkraft AS, 2019).

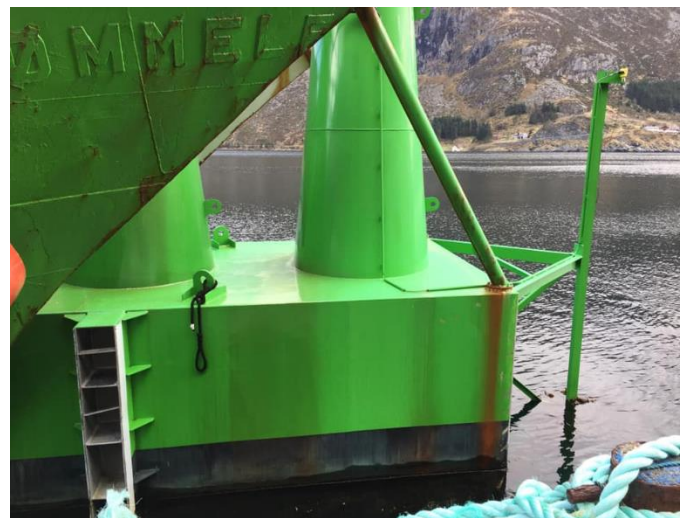
Vi har besøkt Havkraft AS og tråleren som i dag ligger til kai ved Vågsøy, Måløy. Den bærer i dag preg av lite vedlikehold utseendemessig og har siden før testperioden ikke hatt tilgjengelig motorkraft. Som vi kan se på bilde 5 så er Evolver (H-WEC) systemet festet på baugen og er i bedre kosmetisk stand enn resten av båten, ettersom den ikke har vært fullt operativ siden testperioden i 2014 (Havkraft AS, 2019).

H-WEC er et prinsipp som baserer seg på en svingende vannsøyle. Under denne prosessen fungerer vann som et stempel i en sylinder for å så presse luft gjennom turbinen som tidligere presentert. H-WEC systemet reflekterer både den potensielle og kinetiske energien effektivt i bølgen. Dette skjer over et stort spekter av frekvens der både store og små bølger blir tatt opp. Ved hjelp av det vide spekteret kan det skje en mer stabil energiproduksjon med hensyn til størrelse og lengde på bølgene (Nilsen, 2014). Som nevnt ble MS Havkraft brukt for testing av H-WEC teknologien.

Ved første øyekast kan det tenkes at en gammel tråle uten motorkraft som blir brukt som et bølgekraftanlegg kanskje kan være et merkelig valg. Men, når du kommer kjørende inn over mot Måløy og får øye på den Maritime fagskolen, utsikten fra Måløybrua og videre utover kystlinjen mot Raudeberg Maritime Park, så får du se hva Måløy sitt samfunn er bygget opp av. Rike tradisjoner på sjøen og et langt belte av bedrifter knyttet til hav- og fiskerinæring er noe som ligger i blodet i Måløysamfunnet. Da er det kanskje ikke så rart at gamle fisketråler får nytt liv som bølgekraftprosjekter, ettersom det også lønner seg økonomisk.



Bilde 4: MS Havkraft ligger til Kai i Vågsøy utenfor Måløy (Foto: Bjørnar Byberg)



Bilde 5: H-WEC systemet er festet til baugen (Foto: Bjørnar Byberg).



Bilde 6: Turbinsylindere vises på bilde (Foto: Bjørnar Byberg).



Bilde 7: H-WEC systemet integrert inn i baugen (Foto: Bjørnar Byberg).

4.5.2 Waves4Power

Waves4Power (W4P) er et svensk bølgekraftselskap som opererer på norsk sokkel, der de også har klart å gjøre teknologien sin til et bærekraftig alternativ for kommersielt bruk. De har ikke før nå nylig fått anlegget i gang, der de produserer energi fra bølgebevegelse fra havet til strømmettet på land. Selskapets grunnlag strekker seg tilbake til oljekrisen som vi har vært inne på.

I dag har Waves4Power et operativt anlegg utenfor Runde i Møre- og Romsdal. Systemet består av en åtte diameter bøye som er koblet til en dynamisk lavspenningskabel til samlingspunktet. Her blir spenningen transformert til en høyere spenning opp imot 22 kV før kraften blir overført via en undervannskabel til kraftnettet på land. Planen her er å lansere en oppgradert demonstrasjonsenhet i Runde nå i 2019 og koble den til et kraftnett ved bruk av eksisterende infrastruktur (Waves4Power, 2019).

Videre ønsker W4P blant annet å bli en fremtidig leverandør for grønn energi til fiskeindustrien og oppdrettsanlegg. I tillegg ønsker de å tilby pålitelig energi til øysamfunn og andre som ønsker å gå vekk fra fossile brensler til en mer bærekraftig energikilde (Waves4Power, 2019)

4.5.3 Status Bølgekraftprosjekter 2019

Aktør	Modellnavn	Teknologi	Stadium av utvikling
AKER Solutions ASA	AKER WEC	Linjeabsorbator	Modelltesting fullført.
Fred Olsen Ltd m/datterselskap BoltSeapower	Lifesaver	Punktabsorbator	Vellykket prototypetesting fra November 2018 - Januar 2019 i Hawaii.
Havkraft AS	Evolver (Havkraft Wave Energy Converter – H- WEC)	Svingende vannsøyle (OWC)	Teknologien er fullført, og er under bruk.

Intention AS	Intention Offshore Wave Energy Converter	Egen teknologi	Modelltesting fullført.
Langlee Wave Power	Langlee System	Oscillating Wave Surge Converter	Prototypetesting under utvikling
Norwegian University of Science and Technology	CONWEC	Punkt absorbator	Modelltesting fullført
Pelagic Power AS	W2Power	Punktabsorbator	Under utvikling
Pontoon Power	Pontoon Power Converter	Punktabsorbator	Stoppet opp, mangler finansiering
Wave Energy AS	Seawave Slot-Cone Generator	Overtopping/Terminator	Under utvikling
Seamotion Energy AS	«smultringen»	Bøye	Prototypetesting under utvikling
Waves4Power	WaveEL-Buoy	Bøye	Teknologien er fullført, og er under bruk.
Ocean Energy AS	Svalbard Klasse	Bøye	Prototypetesting under utvikling
Ocean Wave and Wind Energy (OWWE)	Wave Pump Rig	Punktabsorbator	Under utvikling
Ocean Wave and Wind Energy (OWWE)	OWWE-Rig	Kilerennekraftverk	Under utvikling

Tabell 1: Norske bølgekraftaktører (Havenergisenteret, 2017) og (EMEC, 2017)

4.6 utfordringer knyttet til etablering av Bølgekraft

Som nevnt er energistrømningen i bølgene høyere enn både i sola og vinden der den i gjennomsnittet er 40-70 kW/m bred under gunstige forhold. Den europeiske vestkysten ligger i den lange og stormfulle enden av Atlanterhavet, og her dannes noen av verdens mest energirike bølger. Hva er utfordringene knyttet til etablering av et bølgekraftverk i slike energirike strøk? (Clement et.al, 2002. s. 408)

Etablering av bølgekraft som energiproduserende teknologi i den globale energisektoren har alltid vært en utfordring.

Siden energikrisen på 1970-tallet har forskerne forsøkt å finne frem til metoder for å utvinne energi fra bølger. En hovedutfordring har vært å utvikle anlegg som fanger opp bølgekraften i kombinasjonen av langsomme bevegelser med tidvis meget høye bølger. Den langsomme bevegelsen gjør at store krefter må tas vare på gjennom en smart måte for å oppnå tilstrekkelig effektnivå, mens stormer ofte gir altfor høy effekt. Bølgekraftanlegg må med andre ord konstrueres slik at de klarer av stormer så vel som orkaner, for ikke å si den såkalte hundreårsbølgen, samtidig som de fanger opp energien maksimalt i mindre bølger. - (Johansen, 2010, s. 98).

Her oppsummerer Dr.philos. Øystein Kock Johansen noen av bølgekraftens utfordringer. Vi skal se nærmere på utfordringene knyttet til etablering av bølgekraft i dette kapitlet. Men for å forstå hva som hindrer etableringen av bølgekraft, må vi først se på hva som kreves for at bølgekraft skal kunne etableres og fremstå som drivverdige.

4.6.1 Grunnleggende kriterier

Bølgekraftanlegg kan kun bygges i kyststrøk eller hav, med tilfredsstillende vind, følgelig gode bølgeforhold. Derfor er det ideelt å plassere bølgekraftanlegg i Atlanterhavet og Stillehavet der bølgene er mest energirike. Men det kreves mer enn gode forhold for å plassere anlegget. For at anlegget skal kunne drives effektivt og lønnsomt må også visse kriterier oppfylles:

1. Den bør produsere nok energi for å fremstå som profitabelt.
2. Anlegget bør være rimelig å bygge og vedlikeholde.
3. Den bør motstå stormer og orkaner av høyeste kategori (eller andre naturfarer) (Straume,2014).

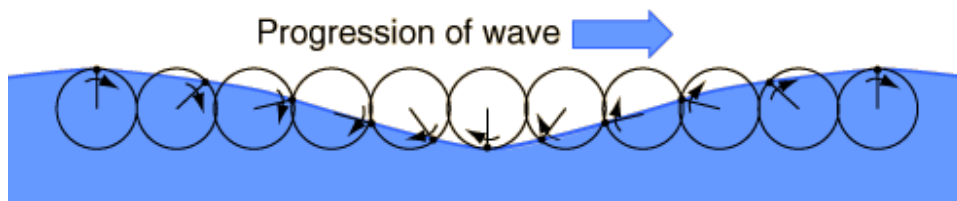
Kriteriene er også avhengig av lokaliseringen til anlegget. Et anlegg i Østersjøen er ikke utsatt for de samme eroderende kreftene som et anlegg i Stillehavet, men den produserer heller ikke samme energimengde, og skaper derfor ikke samme gevinst. Disse kriteriene er kjent blant bølgekraftaktørene, likevel har nærmest alle utviklingsløp knyttet til bølgekraft mislykkes på minst en av disse, og noen på samtlige. Dette tyder ikke bare på store utfordringer knyttet til bølgekraftutviklingen, men også at næringen ikke evner å løse disse. Manglende evne til å løse bølgekraftutfordringene gjør at det har oppstått en pessimistisk holdning rundt bølgekraft som energiteknologi.

4.6.2 Utfordringer knyttet til bølgekraft og bølgeenergi

Utfordringene knyttet til bølgekraft er mange, men de viktigste er knyttet til lokaliseringen av kraftverket og forholdene den er utsatt for. Bølger er uregelmessig og varierer i høyden, per bølgelengde og kan bevege seg i ulike retninger (Clement et.al., 2002. s. 408).

Energistrømmingen til bølgene er overlegen i forhold til sol- og vindenergistrømmingen, men i motsetning til sol og vind er den mindre konstant, hovedsakelig på grunn av bølgebevegelsen. Energien overføres stykkevis i takt med bølgens forflyttelse. Denne uregelmessigheten gjør det vanskelig å skape en konstruksjon som kan ta nytte av bølgene på en effektiv måte.

Dessuten består en bølge ikke bare av en bevegelse. Bevegelsen kan deles inn, i til sammen 4 faser, visualisert i figur 8. Bølgen starter ved selve bølgetoppen, og går så over til en bevegelse som går nedover, til en bølgedal, oppfulgt av en oppstigende bevegelse. Å kunne ta opp energi gjennom alle fire faser ville kreve en avansert konstruksjon, som for tiden ikke eksisterer.



Figur 8 Nave C.R, Progression of wave (kilde: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

En annen utfordring er knyttet til konstruksjonens strukturelle egenskaper, når den er utsatt for ekstreme forhold. Orkaner kan produsere bølger og vinder som er 50-100 ganger sterkere enn under normale forhold. I vintermånedene er det midlertidig ofte tilfellet at store bølger dannes. Konstruksjonen må kunne tilpasse seg normale bølger og ekstreme, noe som er vanskelig å gjennomføre rent designmessig. Den må kunne konvertere de mindre bølgene til energi, før de forholdsvis ekstreme inntreffer, noe som krever et allsidig design (Clement et.al., 2002. s. 408). Utfordringene skaper kriterier både for designet og for bruksområdet.

Kraftstasjonen må kunne fremvise et avansert design som tåler uvær av forskjellig skala, og i det samme kan drives effektivt og lønnsomt. Dette skal vi videre ta for oss i de neste underkapitlene.

4.6.3 Utfordringen ved store bølger

Det å kunne ta opp så mye energi som mulig fra bølgene er blant annet avhengig av de energiabsorberende delene i et bølgekraftverk. Det vil si at vekselvirket på bølgekraftverket beveger seg med bølgene der den hydrodynamiske virkningsgraden blir høyest. Utfordringen her er når bølgene blir så store at vekselvirken ikke oppnår ønsket bevegelsesmønster, og det oppstår komplikasjoner med systemet der virkningsgraden blir svekket. Dette gjør at bølgekraftanlegg har grunnleggende krav om hvordan de skal konstrueres og kriterier å oppfylle, noe som ble nevnt i underkapittelet "Grunnleggende kriterier".

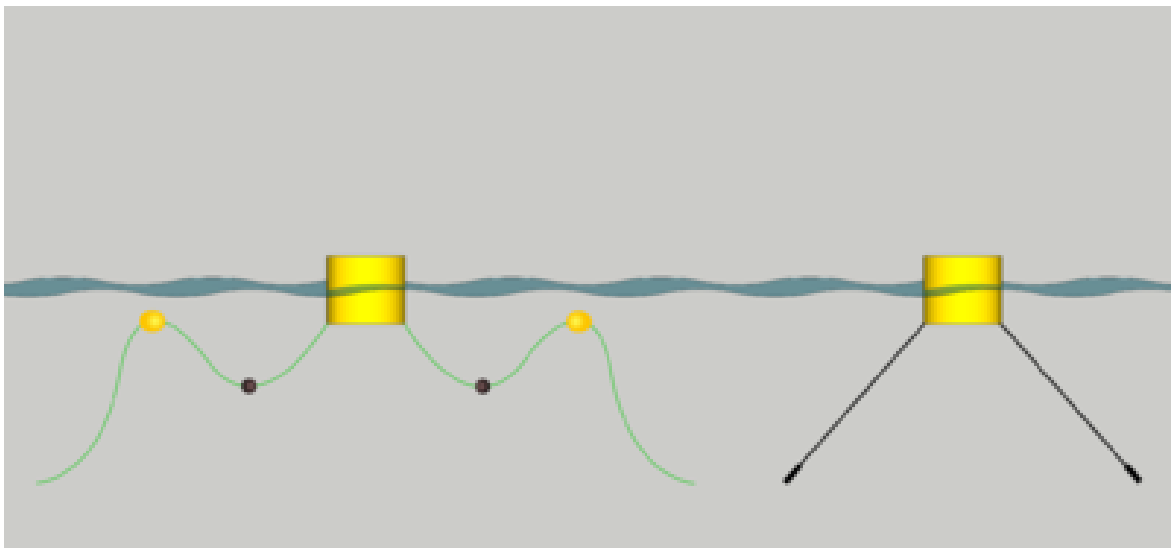
For å oppnå høyest mulig effekt burde vekselvirken være annerledes fra små og mellomstore, til de store bølgene. Dette resulterer i en høy virkningsgrad på de små bølgene, mens virkningsgraden blir lav på de store. Dette er den mest ideelle situasjonen for et bølgekraftverk, der det er ønskelig med høyest mulig effekt og lavest mulig risiko for havarering. Derfor er det viktig at kraftverket har et integrert system/sensor som er selvlerende og forstår bølgebevegelsene. Dette blir muliggjort av målinger gjennomført av miljøet rundt anlegget, der systemet kan legge opp virkningsgraden etter dette. Havkraft AS sitt H-WEC system legger mye vekt på nettopp dette. Selskapet skal kunne fjernstyre og kontrollere anleggene fra land, der de får sine data registrert fra sensorer knyttet til systemet. Som nevnt så er dette et integrert system, så endringene blir gjort automatisk (Straume, 2014).

Norskekysten er eksponert for stormer og orkaner som potensielt vil være ødeleggende for kraftstasjonen. Her vil bølgekraftaktører se på de samme prinsippene som for andre fornybare energikilder, der systemet eller turbinene blir koblet av for å minske risikoen for skade eller ødeleggelse av turbinen eller de andre mekaniske delene ved for mye energitilførsel.

Det å ikke ta i betraktning bølgekreftene kan være en av årsakene til at bølgekraftprosjekter går i vasken. Her har prosjekter som nevnt tidligere havarert på grunn av feilberegninger i forbindelse med naturens krefter til havs. En bølgekraftaktør kan ofte løse dette problemet ved å dimensjonere opp anlegget og tar i bruk mer og tyngre materialer for å kunne demme opp mot de ekstreme forholdene. Dette blir foretatt i oljenæringen der dimensjonering ofte er løsningen. Ettersom bølgekraft er en fornybar energikilde så er den ikke like lønnsom som andre næringer, og mulighetene er derfor mindre for dimensjonering. Derfor vil det å

overdimensjonere et bølgekraftverk i seg selv være en hovedfaktor for en negativ lønnsomhet. Et annet problem knyttet til dimensjonering er at massetrektheten i bølgekraftverket øker betraktelig. Dette kan ses i sammenheng med at vekselvirken og de bevegelige delene blir mindre robust mot store bølger og utgjør da et vedlikeholdsproblem.

Vi har sett hvordan dimensjoneringen og effektene av bølgene påvirker et bølgekraftverk negativt. Det er også utfordringer knyttet til anleggets forankring. Havet er relativt dypt og bølgene har som vi har vært inne på, store bevegelige krefter. Havbunnsinstallasjoner vil derfor ikke være et alternativ. Derfor må bølgekraftaktører se på hvordan dette kan løses på en enklere måte. En forankring er det beste alternativet knyttet til stor dybde. Dette går ut på at det går en kabel fra systemet til havbunnen. Denne forankringen er særdeles viktig da denne regulerer systemets evne til å ta opp bølgeenergien fra normale bølger, og forankringens egenskaper avgjør om systemet kan bli ødelagt av havets store bølger. Det er to hovedforankringer, en stram og en slak forankring, som brukes for alle bølgekraftanlegg som er lokalisert ute på havet. (se figur 9).



Figur 9: Slak forankring til venstre og en stram forankring til høyre (Kilde: www.wikibooks.org)

Ved et flytende bølgekraftanlegg gir en stram forankring et godt energiopptak i både små og mellomstore bølger. Derimot er en slik løsning krevende å dimensjonere riktig ettersom store bølger kan forekomme og ryke denne forankringen. Når vi skal se på en slak forankring, så vil denne fungere for mer krevende type bølger. Denne typen er laget for å takle store bølger og gjør derfor systemet mer robust, men med en slak forankring vil energiopptaket i mindre bølger bli lavere enn normalt. Dette er mye av utfordringen knyttet til et bølgekraftverk. Det å overleve i de store bølgene uten krevende overdimensjonering, samtidig som å ha

egenskapene som gjør at energien i de små og mellomstore bølger blir tatt opp (Straume, 2014).

4.6.4 Økonomi

Lønnsomhet fremstår som essensielt for at et prosjekt skal lykkes. Bølgekraftstasjoner er dyrt å installere, vedlikeholde og drifte på grunn av utfordringene knyttet til havmiljøet. Opp til 3,4-5,8 % av CAPEX utgjør trolig kostnadene i forbindelse med vedlikehold og drift av kraftanlegget. Dette er omtrent 2-3 % mer enn hos offshore vind (Uihlein & Magagna, 2016, s. 1077)

Installasjonskostnadene av kraftstasjonene er avhengig av lokalisering. Offshore anlegg i røffe havmiljøer er vanskelig å installere, hovedsakelig på grunn av det uforutsigbare været og mangel på praktisk erfaring. Dette skaper kostnader som vanskelig kan beregnes i forkant, og som øker den økonomiske risikoen betraktelig for bølgekraftaktører. Disse utfordringene bidrar til at investorer og grundere ikke våger å investere i en bølgekraftaktør som ønsker å utvikle sin egen bølgekraftteknologi. Utfordringene gjør også at det stilles bestemte krav til hvordan kraftstasjonene må utformes og hvordan teknologien må bli satt opp for at den effektivt kan ta opp energien fra bølgene, samtidig som å fremstå som praktisk og økonomisk gjennomførbare.

Bølgekraftaktører som har mislyktes kan ses i sammenheng med at utfordringene har blitt neglisjert. Det er i prinsippet det mange aktører sliter med i global forstand, men om det er tilfellet i det norske næringslivet gjenstår fremdeles å se. For å avklare og sette utfordringene opp mot norske aktører, har vi sett på arbeidet til Havkraft AS som en suksessfaktor og analysert de andre bølgekraftaktørene som står fast eller har mislykkes opp mot dette.

En av de største kostnadene til bedrifter uansett næring er utgifter knyttet til de ansatte. Når du er ferdig med et pilotprosjekt og skal over til fullskala test eller kommersielt bruk på havet, blir kostnadene eksponentielle ved graden av avansert havsetting. En av årsakene er at et bølgekraftanlegg krever mye vedlikehold, noe som kan være vanskelig å oppnå uten egnet fartøy. Havets egenskaper gjør også at bevegelige deler slites, i tillegg kan det oppstå andre teknologiske utfordringer knyttet til anlegget. Derfor vil alle operasjoner som skjer på havet vær forbundet med høye kostnader. Derfor vil nøkkelen til en bra økonomisk avkastning av prosjektet være at arbeidstimene på havet holdes til et minimum og systemet er tilnærmet vedlikeholdsfritt.

Sammen med høye kostnader knyttet til havet, er det også knyttet store kostnader ved tilkobling til kraftnettet. Skal overføringen av energi fra bølgekraftanlegget skje direkte til kraftnettet må det utarbeides overføringskabler fra systemet til kysten. Selv om Norge har høy kompetanse knyttet til undervannsinstallasjoner så vil det å legge undervannskabler fra et anlegg ute i havet til land være kostbart. Dette er fordi faktorene ved økt dybde, ujevn bunntopografi og distanse vil ha en direkte påvirkning på om et prosjekt lønner seg økonomisk, med tanke på etableringskostnadene. Skal effekten på en bølgekraftteknologi fungere opp mot sitt potensial ønsker man teknologien skal plasseres ved et forholdsvis grunt nivå (teknologi med forankring). Her har vi vært inne på at vi får størst effekt og utvinning ved små og mellomstore moderate bølger (Straume, 2014).

4.6.5 Marked og konkurranse

Utfordringene knyttet til etablering av et bølgekraftverk og en bedrift omhandler mye mer enn tekniske løsninger og kostnader. Skal man se på helheten må vi videre se på hvilke energiresurser vi har tilgjengelig og hvilken posisjon disse har i forhold til bølgekraft. I dag kan vi se at Norge har en miljøvennlig strømproduksjon av fornybare energikilder der vannkraft (129 TWh), vindkraft (1,9 TWh) og varmekraft (3,3 TWh) utgjør til sammen 134,2 TWh. Dette dekker 98% av vårt energiforbruk (Regjeringen, 2014). For bølgekraft blir det nærmest umulig å konkurrere mot de andre fornybare energikilder ved dagens lønnsomhet. Vind og vannkraft har lenge vært etablert i det norske kraftmarkedet og deres utfordringer har blitt mer overkommelige enn de knyttet til bølgekraft.

Norge har en lang og rik tradisjon når det kommer til vannkraft. På slutten av 1800-tallet ble Norge industrialisert ved hjelp av dammer, fossefall og elver, der elektrisk energi var drivkraften i fabrikkene. Over tid har vi derimot sett hvilke konsekvenser vannkraftutbygging har hatt for landet vårt. Fosser og elver har blitt lagt i rør, svære dammer har krevd mye materialbruk og store områder er utbygd for å sikre forsyningen vår. Derimot er effekten og relabiliteten på slike kraftverk svært høy. Vi har et kraftnett der det regionale og statlige nettet er knyttet tett sammen både geografisk og blant kraftaktørene. Dette er med å gjøre vannkraften svært overlegen når det kommer til utnyttelse av infrastruktur og er i tillegg en relativt lett gjennomførbar teknologi.

Bak den tradisjonsrike vannkraften kommer vindkraft i forhold til energiproduksjon. De siste tiårene har vindkraft blitt svært aktuelt her i Norge, der vi har fått en massiv økning av vindparker. Ettersom flere parker vil prege det norske landskapet i årene som kommer, oppstår det også konflikter knyttet til dette. Det norske samfunnet er splittet når det kommer

til etablering av vindparker, på grunn av deres påvirkning på miljø og samfunn. Som vannkraften har vindkraftutbyggingen flere like utfordringer ved seg. Høyt materialbruk av mineraler og store arealer blir brukt for å konstruere vindparkene. Et annet viktig aspekt som opptar det norske folk er estetikken ved et vindkraftverk. Vindturbinene blir ofte satt på høye topper og flate landskap der vinden er som sterkest. Ulempen med dette er at disse områdene er de mest synlige i terrenget og turglade nordmenn blir derfor ikke møtt med urørt natur og spektakulære syn.

4.6.6 Virkninger på miljø og samfunn

Bølgeenergi blir sett på som en av de reneste fornybare energikilder i verden, med lite til ingen negativ innflytelse på miljø og samfunn, dersom den blir utnyttet (Clement et.al., 2002). Bølgekraft har en mindre negativ virkning på miljø og samfunn enn for eksempel vindkraft, men den er fremdeles eksisterende. I følge Thorpe gjør den manglende erfaringen innen bransjen og planleggingen det vanskelig å identifisere mulige virkninger av kraftstasjonene, men han har likevel utformet en tabell som gjengir noen av de forventede virkningene (Thorpe, 1999, s.164). Potensielle miljøpåvirkninger i forbindelse med bølgekraftanlegg:

Miljø effekt	Størrelse på miljøpåvirkning
Konstruksjon og vedlikehold av kraftstasjonen	L
Rekreasjon	L
Kyst erosjon	L-M
Sedimentær transport mønster	L
Risiko/fare angående navigasjon	L
Fisk & marin biosfære	L
Akustisk lyd	L
Rødlistearter	L
Skader forårsaket av installasjonen/forankringen	L-M

Tabell 2 Bokstaver: L – Liten, M – Middels, S – Store (Thorpe,1999, s.153)

Bølgekraftanlegg har mange negative effekter på miljøet, selv om graden ligger på et forholdsvis lavt nivå. Graden er avhengig av lokasjon til anlegget og dens omfang/størrelse. Skader forårsaket av installasjonen/forankringen og kysterosjon fremstår som de to største påvirkningene. Kysterosjon kan bli forårsaket av både onshore og offshore anlegg med at

begge kan endre bølgemønsteret. Dette trenger ikke nødvendigvis føre med seg negative konsekvenser. Et bølgekraftanlegg kan også fungere som et slags forsvarsverk mot havets krefter (Bergillos, Lopez-Ruiz, Medina Lopez, Monino, Ortega-Sanchez, 2017, s. 357). Den kan dempe bølgene og dermed forsinke erosjonsprosessen av kystgeografien betydelig. Som sagt kan bølgekraftanlegg ha en rekke negative effekter, graden derimot kan ikke tydeliggjøres før anlegget har blitt installert eller prosjektet er i planleggingsfasen. Når miljøeffektene blir registrert og kategorisert etter installasjon, er det ønskelig å finne gode løsninger på å redusere disse. Løsninger kan blant annet være en biologisk nedbrytbart hydraulisk væske og en reduksjon av visuell sjenanse (Eco Wave Power, 2018).

Det har blitt testet ut mange typer kraftstasjoner som tar i bruk bølgeenergi de siste tiårene. Mange av disse har ikke hatt løsningene som nevnt tidligere, der flere av dem ikke har nådd kommersielt bruk av ulike årsaker. En av årsakene er havarering/ødeleggelsen av kraftstasjonen gjennom ekstremvær, altså resulterende nedsynking eller dumping på grunn av store skader ved selve anlegget. Disse kraftstasjonene fremstår som en mulig miljøpåvirkning, i den forstand at det kan påvirke habitat for dyr og planter der de lekker skadelige materialer. Et godt eksempel på to anlegg som har blitt forlatt er de norske prestisjeprosjekt i Toftestallen, som ingen har tatt ansvaret for siden ødeleggelsen i 1988 og 1989. Begge anleggene var kystanlegg, og var ment til å bringe forandring i form av en "ny" fornybar energiressurs, der varigheten på anleggene var kun et par måneder. Begge ble helt eller delvis ødelagt av orkaner og restene latt igjen til å ruste. Slike anlegg kan ikke bare påvirke miljøet negativt, men også andre deler av samfunnet, som marinenæringene.

5. Politisk satsning på Bølgekraft

5.1 Bølgekraft i politikken

Støtteordninger er et virkemiddel for å fremme utvikling i kraftindustrien, men for at støtteordningene skal fungere må politikken rettes mot et grønt skifte og etableringen av fornybare energikilder. Gjennom internasjonale avtaler har Norge og andre vestlige land forpliktet seg til å senke sine utslipp, og implementere mer fornybar energi. To viktige avtaler har blitt undertegnet i løpet av de siste 20 år, Kyoto-avtalen og Parisavtalen. Begge åpner for mer variasjon innenfor den globale energisektoren i og med begge har som mål å senke utslippene. Kyoto-avtalen er den eldste av de to og setter tallfestede utslippsforpliktelser for både Norge, EU og andre høy industrialiserte land. Kyoto-avtalen, også kalt for kyotoprotokollen åpner for at land kan innfri forpliktelsene sine ved å gjennomføre 3 fleksible mekanismer, i form av:

- Felles gjennomføring: Det vil si at land kan investere i prosjekt som senker utslipp i andre land og få godskrevet denne reduksjonen i sitt eget land.
- Den grønne utviklingsmekanismen: Investere i prosjekt i utviklingsland som ikke har forpliktelser under kyoto-avtalen.
- Internasjonal kvotehandling: Land som befinner seg under utslippsgrensen sin kan selge bort kvotene sine til land som er over utslippsgrensen sin (Miljødirektoratet, 2017).

Parisavtalen kan ses på som etterfølgeren av Kyoto-avtalen, selv om Kyoto-avtalen enda gjelder frem til 2020. En viktig forskjell i forhold til Kyoto-avtalen er at ikke bare høy industrialiserte land er forpliktet til å senke utslippene sine. Avtalen gjelder for alle land, selv om land som fremstår som rike forventes til å gjøre mest (FN-sambandet,2018).

Også den europeiske unionen har utarbeidet flere retningsgivende dokument for å promotere fornybare energikilder og redusere utslipp av klimagasser. Et av de viktigste dokument er fornybardirektivet. Fornybardirektivet ble vedtatt i 2008 og innlemmet i EØS-avtalen i 2011 og krever at alle medlemmer av EU eller EØS må øke sin egen produksjon av fornybar energi. Direktivet er retningsgivende for norsk energipolitikk og Norge har derfor satt seg konkrete mål i forbindelse med den. I 2016 har den europeiske kommisjonen bestemt seg for å revidere fornybardirektivet og endre dokumentet i forhold til vedtakene fattet av det europeiske rådet i forbindelse med «2030 energi- og klimarammeverk» som fastsetter bindende mål om minst 27 % fornybar andel i forbruket for hele EU frem mot 2030. Den nye reviderte versjonen vil erstatte den gamle ved begynnelsen av 2021 (Europakommisjonen,2021, s.1)

Også nasjonalt satser nåværende regjering på fornybar energi. Gjennom stortingsmelding 25 vil regjeringen prioritere følgende 4 satsingsområder frem til 2030:

1. Styrket forsyningsikkerhet.
2. Lønnsom utbygging av fornybar energi.
3. Mer effektiv og klimavennlig bruk av energi.
4. Næringsutvikling og verdiskaping gjennom effektiv utnyttelse av lønnsomme fornybarressurser.

I stortingsmeldingen blir også bølgekraft nevnt som teknologi under utvikling som kan spille en stor rolle i fremtiden. (Olje- og energidepartementet, 2016, s. 7)

Internasjonale avtaler, direktiver og rammeplaner åpner direkte eller indirekte for finansiering av teknologier som tar i bruk fornybare energikilder. Bølgekraft er fornybar energi og

fremstår derfor som aktuelt i forhold til disse. Politikerne har stor påvirkning på energisektoren, i at de setter rammer og dermed bestemmer hva som skjer fremover. Om bølgekraft blir sett på som en del av den politiske satsingen for et grønt skifte er å avvente og behandles i resultatdelen.

På veien mot et nullutslippssamfunn i Norge må vi finne løsninger for å oppnå dette på en bærekraftig og effektiv måte. Fornybar energi er svaret på mange av spørsmålene for en grønnere fremtid, men teknologiene er ofte svært kostbare og det tar tid før et prosjekt blir lønnsomt. Bølgekraft er et godt eksempel på dette, og har videre mange utfordringer som omhandler økonomi og teknologi. Det er derfor viktig at hvis vi skal bruke bølgekraft som en energiteknologi at vi også utvikler teknologiene og styrker innovasjonen på området.

Bølgekraftaktørene er tydelige på at de trenger økonomisk støtte i utviklingsfasen og er direkte avhengig av støtte fra offentlige fond og støtteordninger som politikken setter rammer for. I tillegg er det viktig å få med seg samarbeidspartnere som har troen på prosjektet og vil være med å utvikle teknologiene.

Det siste tiåret har Norge opprettet en rekke ulike støtteordninger, der Enova og Innovasjon Norge har vært viktige bidragsyttere på veien mot et bærekraftig samfunn og et grønt skifte. I tillegg har vi det nyoppstartede fornybarfondet (nysnø) som antagelig vil være en viktig investeringspartner i tiden fremover.

Mange bølgekraftprosjekt blir startet av privatpersoner eller bedrifter som ser et stort energipotensial i bølgene. Utfordringene er som nevnt store, der få investorer ønsker å støtte “enkeltmannsprosjekter” uten riktig struktur og med lite gjennomføringsevne. I et bølgekraftprosjekt vil den økonomiske strukturen være bygget opp i en tredelt finansieringsmodell med egenkapital, investorer/partnere og støtteordninger. De ulike støtteordningene baserer seg på ulike kriterier, og har ulike formål knyttet til støtte av et prosjekt. Det viktigste for at et bølgekraftprosjekt skal være under vurdering, er at prosessen skal være ryddig og strukturert fra A til Å, der du har alle brikkene på plass i en bedriftsmodell. Her blir det lagt vekt på om du har det riktige teamet med fagkompetanse rundt deg for å gjennomføre prosjektet. I tillegg til disse kriteriene må vi også se på en annen viktig faktor for å få innvilget støtte. At teknologien er økonomisk gjennomførbar i tillegg til å være bærekraftig. Videre skal vi ta for oss de aktuelle støtteordningene som har hatt en påvirkning på bølgekraft i Norge, der vi også ser på kriterier og mål knyttet til disse.

5.2 Enova

Enova arbeider for en bedre omstilling til lavutslippssamfunnet. Denne omstillingen krever at det kuttes i utslipp av klimagasser, mens forsynssikkerheten opprettholdes samtidig som det skapes nye verdier. Ved å utvikle de beste løsningene for markedet vil de bidra til nye energi- og klimateknologier (Enova, 2019). Vi har innledningsvis nevnt at støtteordningene krever at teknologiene har en effektivitet, gjennomføringsevne og en lønnsomhet som er gjennomgående.

Vi har tidligere vært inne på at det ofte er svært dyrt å ta i bruk nye energi teknologier som er klimavennlige. Bølgekraft er ikke et unntak der utfordringene er store knyttet til start og etableringsfasen. Derfor sier det seg selv at det er veldig risikabelt for en enkeltperson eller bedrift å begynne å etablere seg innen bølgekraftindustrien. Uansett om det er korte eller langsiktige prosjekter, eller om bedriften sitter med stor eller liten kapital. Enova er blitt opprettet for å gi økonomisk støtte i disse tilfellene, slik at prosjektene enklere lar seg gjennomføre (Enova, 2018).

Per i dag har ikke Enova vært like aktive på bølgekraftfronten som Innovasjon Norge fordi de har ulike formål ved å støtte prosjekter. Enova har hatt spesiell tro på W4P prosjektet på Runde. Rundeprosjektet fikk støtte i Juni 2015 og har over en kort periode klart seg uten videre finansiering. I dag har prosjektet stagnert, og innovasjon Norge har da kommet på banen for å ta seg av videre støtte av prosjektet.

W4P prosjektet kan ses i sammenheng med oppgavens utfordringer. Utfordringene er knyttet til teknologien der lønnsomheten ikke gir prosjektet videre økonomisk drivkraft. Det har vi sett etter at W4P prosjektet har vært økonomisk gående i perioder, men ble videre direkte avhengig av at støtteordningene for videre utvikling. Enova og Innovasjon Norge er i dag med å støtte prosjektet. Her er en oversikt over støtten gitt til W4P:

Prosjekt	Prosjekteier	Støtte	Resultat
Waves4Power's bølge kraft system.	Waves4Power AS Herøy, Møre og Romsdal	12 005 100,- Vedtatt: 15.06.2015	250 000 kWh

Tabell 3: (Enova, 2019)

5.3 Innovasjon Norge

Innovasjon Norge (IN) er ikke bare aktivt i det grønne markedet, men også hele spekteret av norsk næringsliv og industri. Innovasjon Norge har den funksjonen i norsk næringsliv der de er med å finansiere alle typer prosjekter fra jordbruk til avansert teknologi. Dette vil være med å heve kompetansen hos både gründere og det etablerte næringslivet her i Norge, og vil deretter direkte skaffe bedre muligheter til bedrifter samt flere arbeidsplasser. Bevilgingene som blir gitt skal bidra til flere gründere, vekstkraftige bedrifter og innovative næringsmiljøer (Innovasjon Norge, 2019).

Innovasjon Norge støtter mange næringer, men hva betyr Innovasjon Norge for de norske bølgekraftaktørene? Innovasjon Norge har siden 2010 hatt en viktig rolle for noen av bølgekraftaktørene i Norge. Fra perioden 2010 – 2019 er det blitt bevilget 16 515 000 kroner til ulike formål hos bølgekraftaktørene. Eksempelvis har Havkraft AS fått innvilget sine søknader om støtte flere ganger med totalt 7,7 millioner kroner, mens HydroWave har fått sin søknad på 25 000 kroner innvilget. Prosjektet til Langlee Wave Power fikk sin søknad på 8 millioner kroner innvilget i 2011, som er det største innvilgede beløpet en bølgeaktør har fått (tabell 4). Det er nå noen år tilbake og vi har utarbeidet en tabell som viser hvor aktørene står i dag med teknologiutvikling og videre prosjektering (tabell 1).

Det at Innovasjon Norge har vært inne med støtte i flere bedrifter enn Enova kan tyde på en større optimisme. Om dette er tilfellet gjenstår å se videre i oppgaven der vi i resultatdelen skal ta for oss synspunktene til Geir Arne Solheim (Havkraft AS) og Rune Henjesand (Innovasjon Norge). Her skal vi også se hvilken rolle IN hadde for Havkraft AS og deres utvikling. Her er en oversikt over Innovasjon Norge sine bidrag til norske bølgekraftaktører:

Navn	Innvilget beløp	Virkemiddelgruppe	Innvilget dato
PONTOON POWER AS	500 000	Inkubatoretablering	17.12.2010
PONTOON POWER AS	200 000	Etablerertilskudd	13.04.2010

LANGLEE WAVE POWER AS	8 000 000	Landsdekkende utviklingstilskudd	21.12.2011
HAVKRAFT AS	340 000	Bedriftsutviklingstilskudd	29.11.2010
HAVKRAFT AS	4 500 000	Miljøteknologi	27.06.2013
HAVKRAFT AS	2 850 000	Miljøteknologi	10.02.2015
OFFSHORE POWER PLANT AS	100 000	Landsdekkende etablerertilskudd	22.11.2018
HYDROWAVE AS	25 000	Bedriftsutviklingstilskudd	16.11.2017
HYDROWAVE AS	695 000	Bedriftsutviklingstilskudd	16.06.2017
WAVE ENERGY AS	755 000	Industrielle forsknings- og utviklingskontrakter	05.03.2010

Tabell 4: (Innovasjon Norge, 2019)

6. Resultat

I dette kapitlet skal vi presentere resultatene fra intervjuene. Resultatene er tematisert og skaper grunnlaget for å besvare vår problemstilling; Hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge?

Vi har valgt å dele intervju spørsmålene i følgende temaer:

- Politikk
- Økonomi
- Teknologi
- Marked

Spørsmålene vi stiller respondenten vil variere, avhengig av deres bakgrunn og kunnskapsgrunnlag. Strukturen på spørsmålene er lik, men innholdet differensieres. Grunnen til at vi valgte følgende temaer, skyldes de belyser viktige momenter for å svare på

problemstillingen. Litteraturstudien beskrevet tidligere tar for seg temaer som politikk, økonomi, teknologi og marked.

Vi så veldig tidlig hvilke utfordringer bølgekraft hadde, og de samme utfordringer var gjennomgående i intervjuene. Ikke desto mindre går det frem i intervjuene at en viss pessimisme preger vitenskapen og det offentlige. Dersom bølgekraft skal ha muligheten til å utvikle seg til en primær energikilde, kreves det at den blir konkurransedyktig med de andre fornybare energikildene. Her må både pris og teknologi være på plass dersom bølgekraft skal slå gjennom. Vil Norge være et land som bidrar til å sette et økt fokus på bølgekraft?

Vi gjennomførte to personlige intervju og en videosamtale. Videre korresponderte vi med tre forskere over E-post, der vi sendte spørsmål og fikk svar fortløpende. De respondentene vi var i kontakt med kan vise til kunnskap og erfaringer innen bølgekraft, bølgefysikk eller hydrodynamikk. Vedkommende er presentert nedenfor i tilfeldig rekkefølge.

Geir Arne Solheim: Administrerende direktør og grunnlegger av Havkraft AS. Kan vise til 20 års erfaring fra industrien.

Rune Henjesand: Seniorrådgiver for Innovasjon Norge. Har jobbet tett sammen med flere bølgekraftprosjekter, blant annet Geir Arne Solheim.

Ivar Fylling: Seniorforsker i SINTEF, har en doktorgrad i marin arkitektur og marin teknologi.

Karl Kaasen: Seniorforsker i SINTEF Ocean, har en doktorgrad i teknisk kybernetikk.

Sverre Steen: Instituttleder for marin teknikk hos NTNU, med doktorgrad i hydrodynamikk.

Sigve Næss: Prosjektleder i BKK og vannkraftingeniør.

Videre har vi valgt å strukturere resultatdelen inn i følgende underoverskrifter; bølgekraft i dag og fremtiden, marked for bølgekraft, finansiering av bølgekraftprosjekter og politikken for utviklingen. Årsaken til denne strukturen var at det var det som passet best opp mot våre underproblemstillinger;

Hva er utfordringene knyttet til etablering av bølgekraft i Norge?

Hva er kriteriene for at bølgekraft skal kunne lykkes i det norske markedet?

Hvor stor påvirkning har det eksisterende kraftmarkedet i Norge på bølgekraftutviklingen?

I tillegg fremstår overskriftene representativt for det som ble behandlet i intervjuene.

6.1 Bølgekraft i dag og i fremtiden

Fra starten av den industrielle revolusjon i slutten av 1700-tallet var utvinning og forbrenning av fossile brensler hovedkilden for energi, i form av elektrisitet og varme. Det har siden blitt observert og registrert en dramatisk økning av temperaturen på jorden. Etter at verdenssamfunnet har sett den negative effekten knyttet til klimaendringene og fossile brensler som energikilde, har flere land sett på en rekke løsninger knyttet til det fornybare energikilder. Norge er et land som ønsker å satse på utnytting av fornybare energikilder og videre bidra til en grønn vekst. Her er målet å kutte klimagasser med 40 % innen 2030. Dagens utvikling tilser at vi er i ferd med å klare det, men spørsmålet er hvilken posisjon bølgekraft vil ha på veien. Hva er utfordringene bølgekraft står overfor i dag? Hva er holdningene til bølgekraft?

Basert på våre intervjuer kommer det frem at det er en generell pessimisme blant forskere, der de stiller seg kritisk til bølgekraft som teknologi og marked. Utgangspunktet for pessimismen deres bygger på erfaringer, prosjekter og er en subjektiv oppfattelse fra den enkelte. Forsker i SINTEF Karl Kaasen hevder at det er primært kostnadene som gjør at bølgekraft ikke lykkes. Tidligere forsker i SINTEF Ocean Ivar Fylling, trekker frem at den fornybare energikilden bølgekraft er dyrere enn vindkraft, uansett teknologi som et argument. Bølgekraft vil etter hans mening tape med glans i en priskonkurrans med vindkraft. Han nevner også at det er vanskelig å hente ut maksimal energi i bølgen på grunn av den kompliserte bølgefysikken.

Instituttleder for marinteknikk ved NTNU Sverre Steen ser heller ikke en fremtid for bølgekraft, siden det er en krevende teknologi der pris/kWh er altfor høy. Her vil kostnadene være høye dersom installasjonen skal være robust mot ekstremvær. På nåværende tidspunkt, hevder Sverre Steen at innen begrepet havenergi så er offshore vindkraft mest interessant i fremtiden.

Innovasjon Norge stiller seg skeptisk til bølgekraft og mener at det er for dyrt å drifte et bølgekraftanlegg i Norge. I skrivende stund har vi ingen teknologi som har fungert optimalt mot utfordringene som bølgekraft står overfor. Derfor mener Rune Henjesand i Innovasjon Norge at bølgekraft som energikilde vil være på samme stadiet i dag som om 10 år, men er åpen for å se på andre muligheter for bølgekraft. Hvorfor ser ikke Rune Henjesand en utvikling og en videre vekst i Norge? Han hevder at sol og vind vil ha en større rolle i årene

som kommer, og at energikildene vil ha en lavere pris sammenlignet med bølgekraft. Den økende konkurransen blant de andre fornybare energikildene vil ikke være med å styrke bølgekraftens posisjon og rolle i fremtiden.

I intervjuet med Rune Henjesand, kommer det også frem at norskekysten er et egnet sted for teknologiutvikling og at vi kanskje kan eksportere teknologiene til andre land og formål. Derfor kan vi si at dersom de rette betingelsene ligger til grunn, kan Norge være et land som viser vei og bidrar til grønn vekst utenfor våre grenser. Selv om Innovasjon Norge driver med miljøteknologiutvikling i Norge, vil det ikke gå mot deres prinsipper å drive næringsutvikling i utlandet. Er derfor Norge et land der man skal satse på å videreutvikle teknologien, og deretter eksportere den til utlandet hvor markedet er større?

Gründer av Havkraft AS Geir Arne Solheim påstår at bølgekraft om 10 år er en av de store energikildene. Han kan basere sin optimisme på 20 års erfaring med testing og utvikling. Det er gjennom denne fasen han kom frem til H-WEC, som benytter seg av svingende vannsøyle- og punktaborbatorprinsippet. Det som er unikt med denne teknologien er at det ikke er noen hydrauliske deler som er i direkte kontakt med vann. Geir Arne Solheim ønsker at teknologien skal være så enkel som mulig og at løsningen ligger i naturens bevegelse. Grunntanken til Solheim er at enkeltindividet skal finne den mest optimale løsningen, der man tar i bruk naturens premisser.

Grundere/forskere har enda ikke klart å utvikle et konsept som både er teknologisk effektivt og økonomisk lønnsomt, og har derfor en pessimistisk holdning imot bølgekraft. Når vi stiller Solheim spørsmålet om hvorfor de har en pessimistisk holdning, får vi følgende svar:

Men det er ingen andre maskiner som funker, så er det klart at de er negative når de ikke får en maskin som funker. De utvikler jo ikke ny teknologi. De sitter og synser og mener at ja dette har ikke fremtid og sånne ting. De kan ikke si det, det er uvitenskapelig tilnærming. Selvfølgelig funker bølgekraft og at løsning er jo at naturen er i bevegelse på en fast måte.

Her kommer det tydelig frem at han er kritisk til forskere/vitenskapsmenn, der han mener at de ikke har nok bakgrunn for å utale seg på et generelt grunnlag. Han hevder at de ikke har nok praktisk innsikt i løsningen og teknologien til Havkraft AS. Det er klart at kraftnæringen som vi har vært i kontakt med har et annet syn på bølgekraft enn vitenskapen og det offentlige. Dette kan skape splittelse og en dårlig felles anstrengelse for å utvikle ny og bedre teknologi.

For at bølgekraft skal lykkes må utfordringene løses. Utfordringene bølgekraft står overfor i dag ifølge våre respondenter beskrives i neste underkapittel.

6.1.1 Utfordringer bølgekraft står overfor i dag

At installasjonen er kostbar er gjennomgående tema blant alle forskere vi har vært i kontakt med. Installasjoner i havet er utsatt for store krefter og må derfor dimensjoneres slik at de tåler ekstremvær. Sverre Steen konstaterer følgende:

At konstruksjonene vanskelig kan lages så de tåler miljøkreftene, og dersom de skal tåle miljøkreftene blir de for dyre. Det at mye av konstruksjonen, inklusive selve kraftgenereringssystemet i de fleste tilfellene er plassert under vann er en utfordring, som bidrar til økte kostnader både ved investering og drift og vedlikehold.

Senior forsker Karl Kaasen peker på de samme utfordringene som Steen. Han hevder at de største problemene per dags dato er å utvikle et kraftverk som tåler ekstremvær, der man eksempelvis kan senke installasjon for å unngå skade. Det kommer også frem at systemer som kobles til nettet er en prosess som er kostbar og krever store investeringer. Dette blir oppsummert i følgende uttalelse til Kaasen:

Et kraftverk må dimensjoneres for topp-lastene både mekanisk og elektrisk. Disse er mange ganger større enn gjennomsnittslasten som bestemmer gjennomsnittseffekten. Det har vært foreslått systemer som senkes i sikker dybde ved storm for å unngå skade, men så vidt jeg vet, har ingen slike blitt bygget eller prøvd. Noen systemer opererer permanent under vann. Da unngås store belastninger, men samtidig blir energiutbyttet dårlig. Systemer til sjøs må kobles til nettet, og selv om det eksisterer teknologi for slikt, blir det dyrt. Dertil kommer at bølgekraftanlegg kan komme til å ligge svært avsides og kreve stor investering i overføringslinjer.

Det er flere utfordringer knyttet til oppkoblingen til kraftnettet, samt dimensjonering og de store belastninger som kraftstasjonen er utsatt for. Men det som fremstår som viktigst er energiproduksjonen som kraftstasjonen kan oppnå. Geir Arne Solheim hevder at sin konverter kan forsyne verden syv ganger, dersom alt annet ble forbudt. Teknisk sett kan dette være mulig, men i praksis vil det være betraktelig vanskeligere. Konverteren til Solheim krever videre forbedring, dersom den skal ut på markedet. Geir Arne Solheim konstaterer med følgende utsagn:

Det som er problemet med vår konverter er at den er sårbar, siden den jobber med uregelmessige frekvenser. Her er det en del optimalisering som gjenstår og krever at man lærer seg.

Prosjektleder i BKK Sigve Næss, trekker han frem noen av de samme utfordringene som tidligere nevnt av respondentene. Bølgekraft står ifølge Sigve Næss overfor utfordringer knyttet til installasjonsfasen og de store påkjenningene i å tåle ekstremvær. Han sier at det er mange gode løsninger og konsepter, men så langt har få eller ingen lykkes. Sigve Næss trekker frem vind, som har kommet langt på teknologi utvikling. Siden vind har kommet langt er prisen lav sammenlignet med bølgekraft. Sigve Næss mener at bølgekraft har en fremtid der det er kostbare og ikke bærekraftige alternativer.

På grunn av dagens ståsted for bølgekraft er det er mange som hevder at fremtiden ligger i hybridløsninger. Det å kombinere bølgekraft med vindkraft kan være en løsning for klimaproblematikken vi står overfor. Hybrid er en smart løsning, men spørsmålet er hva slags hybridløsning man benytter seg av. Det å kombinere en dårlig løsning med en god en, er ingen god kombinasjon. Solheim sier at hybrid ikke er fremtiden, men at det vil være en del av den. Solheim sier følgende:

Det negative med hybrid er at du kompliserer to forskjellige løsninger. Det er bedre å utvikle en ren løsning, også kombinerer du det med ene annen løsning som er utviklet.

Det er vanskelig å si om utbyggingspotensialet for bølgekraft komme til å bli større i fremtiden. Dersom bølgekraft skal lykkes kreves det et kraftverk som er robust og en teknologi som er lønnsomt, altså en teknologi som løser eller omgår utfordringene.

6.1.2 Teknologien

For å utnytte energien i bølgene er det viktig med en innovativ og effektiv teknologi som benytter seg av store deler av bølgespekteret. Havet er kompleks og krever at teknologien utvikles. Problemet med dagens teknologi er at den ikke er robust mot ekstremvær, hevder Rune Henjesand. Han sier at teknologien er spennende og har et stort potensial, men at det enda ikke er funnet en løsning som har fungert optimalt. Det som er hovedutfordringen med ulike bølgekraftinstallasjoner er at de plasseres i ulikt havmiljø. Henjesand sier følgende:

Det som er problemet med bølgekraftteknologier utenom miljøet de skal plasseres i, er at du mister mye av den innhøstede energien fra konverteringen til kraftnettet. Altså at

energieffekten blir mindre på grunn av at man mister energi i leddene, dette er noe Havkraft AS sliter med.

Solheim er mer optimistisk og har et annet synspunkt. Han forklarer kort hvordan konverteren fungerer, og at den stadig er i utvikling. Konverteren forbedres og er i utvikling, der virkningsgrad og design stadig blir mer effektiv og lønnsom. Den består av flere kammer der det er veldig lite tap mellom dem. Uansett hvor langt teknologien er kommet, vil det alltid være et tap fra energikilden til utnyttelsen. Det ideelle vil være å utvikle en teknologi som minimerer tapet der kostnadene er lave. Han sier følgende:

Vi bare henter ut forskjellige deler av bølgen. Det vil alltid være et lite tap fra energikilden til utnyttelsen av den.

Sverre Steen hevder at utfordringen ligger i at bølgekraft er en varierende energiresurs, der bølgene produserer mest energi om vinteren der etterspørselen er størst. Her er det først og fremst dimensjoneringen av konstruksjonen som kompliserer energiproduksjonen. Karl Kaasen trekker frem at bølgefysikk og annen hydromekanikk ikke er lett å begripe. Kompliserte formler for bølgeenergi er ikke lett å fortolke og nyttiggjøres i praksis.

Solheim er enig at bølger er sammensatt og kompliserte og det er derfor vanskelig å utnytte energien i hele bølgespekteret. Han er opptatt av at naturen er i fast bevegelse, og at det selvfølgelig kan tas ut energi av bølgen. Geir Arne Solheim sier følgende;

Du skal få panikk med en gang du må legge til noe. Det er derfor jeg ønsker å gjøre det så enkelt som mulig, med en gang du skal legge til en liten ventil eller annet kan det skape problemer. Dersom du legger til en ventil legger du til en bevegelig del, og da har du tilført systemet en kompleksitet som naturen ikke ville gjort. Den ville funnet en organisk måte å gjøre det på.

Solheim er opptatt av at teknologien skal være så enkel som mulig, og følge naturens prinsipper. Dette legger man merke til, dersom man studerer hans patenter. Er det enkeltheten og naturens bevegelse som har ført til at han har kommet ditt han er i dag? Konverteren konstrueres slik at den ikke krever komplisert vedlikehold. Tidligere var konverteren konstruert av aluminium, mens den i dag er laget av kompositt, som i utgangspunktet er vedlikeholdsritt.

For at teknologien skal videreutvikle seg trengs det en økning i interesse fra næringslivet. Dette kan gjøres ved å finne et marked for de eksisterende eller fremtidige bølgekraftteknologiene. Om dette markedet befinner seg i Norge eller i utlandet vil bli behandlet i neste kapittel.

6.2 Markedet for bølgekraft

Norge er et land som er egnet til å utnytte de fornybare energiresursene, der vi har et stort marked som legger til rette for utvikling og forskning. Vannkraften har i over 100 år anført kraftindustrien i Norge, mens vindkraft er i full fart fremover mot å gi energiforsyning i Norge en ny dimensjon. Vi har tidligere forklart hvor store disse ressursene er, og hvordan de påvirker Norge på ulike områder. Med så store ressurser tilgjengelig har vi bokstavelig talt, et hav av muligheter å føre inn et nytt energisystem i vårt allerede godt etablerte kraftnett.

Rune Henjesand fra Innovasjon Norge påpeker at det kreves endringer for at det skal bli et marked for bølgekraft i Norge i fremtiden. Etter å ha tatt i betraktning at vannkraft er en etablert ressurs, trakk han frem at både sol og vindenergi har en større fremtid, der de kommer til en lavere pris i forhold til det bølgekraft gjør i dag. Han ser ikke for seg at bølgekraft skal ha en toneangivende rolle i norsk kraftindustri i årene som kommer, men ser heller muligheter på det globale markedet, eksempelvis i land som ikke har de samme mulighetene som Norge med tanke på kraftproduksjon. I tillegg til muligheter knyttet til lokalsamfunn og øygrupper som ligger utenfor et eksisterende kraftnett.

For at det skal være et marked der man skal lykkes med bølgekraft er det mange faktorer som må klaffe. Det må være et hjemmemarked for bølgekraft dersom man skal utvikle en industri, som er bedriftsøkonomisk lønnsomt. Steen nevner vindkraft som et satsingsområde, spesielt offshore vindkraft. Steen sier at markedet for offshore vind er stor i Norge og at det finnes et mulig hjemmemarked. Sverre Steen fra Marinteknikk (NTNU) sier følgende;

Det trengs et hjemmemarked for å utvikle en industri. Norge burde satse på utbygging av offshore vind i Norge. Hywind Tampen er spennende.

Karl Kaasen er også klar på at mulighetene fremover ligger i vindkraft og andre “nye” fornybare energikilder. Geir Arne Solheim fra Havkraft AS har litt av de samme tankene, der han har sett for seg rollene energikildene burde ha. Han peker spesielt på de “nye” fornybare energiresursene sol og vind der de krever mye areal i forhold til bølgekraft;

Si du skal ha 100 kW som eksempel, her er så mye areal du måtte hatt dersom du skulle hatt 100 KW med solceller (illustrerer med stor sirkel), så lite areal ville

vindkraft tatt (illustrerer med mellomstor sirkel) og så lite ville du hatt med bølgekraft (illustrerer med liten sirkel).

Utover dette er han enig med Steen og Kaasen, og mener at potensialet og fremtiden ligger ute på havet. Her kan du kombinere en bølgeteknologi med for eksempel et vindkraftverk. I tillegg til dette setter han et klart bilde på hvordan fremtiden burde se ut, og hvordan energiforsyningen burde være:

Vind og bølger er på en måte tingen i forhold til det som skjer på havet. Og da er tanken at vindmøller (turbin) stadig vokser seg større, så de store produksjonene kan du kjøre på vindkraft, mens de små operasjonene kjører du på bølgekraft. Vindkraft kjøres ofte på grid og hele nasjonen kan få et nett i fra det.

Vind og bølger er nøkkelen til det som skjer på havet. Ifølge Geir Arne Solheim er en annen mulig marked erstatningen av dieselaggregatene ved små operasjoner. Dieselaggregatene erstattes av bølgekraft, som medfører redusert klimautslipp. Den positive klimaeffekten ved å kvitte seg med dieselaggregat, er større enn å kjøre solenergi inn på kraftnettet i Norge. Her er det snakk om flere millioner dieselaggregat som vil bli erstattet. Geir Arne Solheim viser også til hvordan de små operasjonene burde bli utført og mener følgende gjelder fremover:

Mens alle dieselaggregatene som går på små operasjoner og sånne ting er det kun bølgekraft som vil funke. Solceller er jo flott på hustak og parker og sånn ting, der det er naturlig. Sola har jo selvfølgelig sin plass, men i Norge på kysten er det jo vind og bølger som gjelder.

Kraftselskapet BKK mener også at fremtiden ligger i vindkraft, men at bølgekraft har potensialet dersom det blir produsert kostnadseffektivt til et marked. Sigve Næss betegner BKK som en teknologibruker, hvor de tar i bruk teknologi som de trenger for å satse på fornybar energi. De har en avventende holdning, der de vil ha teknologien på plass og i kommersielt bruk før de velger å satse på løsningen. Det er også viktig for dem at prosjektet er bedriftsøkonomisk lønnsomt. Det vil si at det er krav om at teknologien er moden, før den blir vurdert.

Geir Arne Solheim ser klare fordeler med å være et lite selskap og mener det er viktig å tenke utenfor forretningsmodellen. Dersom du skal lykkes med bølgekraft i fremtiden er det essensielt at du utfordrer forretningsmodellen. Du må være villig til å tenke utradisjonelt, men

lande tradisjonelt. Hva er årsaken til at Solheim har kommet ditt han er i dag. Har han utfordret den tradisjonelle forretningsmodellen? Solheim har en annen faglig bakgrunn enn det som er forventet. Han er utdannet norsk- og historielærer. Det at han lykkes uten en teknisk utdanning viser at det er muligheter å lykkes dersom man tenker utradisjonelt. I en kommentar fra Solheim påstår han at det er lettere å komme opp med en ide dersom man er en liten bedrift:

Mye enklere for meg å samle tankene mine enn en organisasjon på 100 000 tusen mennesker. Her har jeg en kjempefordel, hvordan skal de få 100 000 mennesker finne opp en ide i lag. Det mangler den visjonen og den samlede tanken.

6.3 Finansiering av bølgekraftprosjekter

Etter å ha pratet med aktører i bølgekraftbransjen har vi kommet frem til at det er en tredeling i finansiering av et bølgekraftprosjekt. Her deler vi opp finansieringen med egenkapital og støtteordninger, mens den siste tredjedelen går ut på at du må ha med deg partnere fra næringslivet, som er villige til å være med å støtte prosjektet økonomisk. Etersom Geir Arne Solheim (Havkraft AS) og Rune Henjesand (IN) har vært i dialog over en lengre periode angående H-WEC prosjektet, har også Henjesand nå nylig opprettet dialog med W4P prosjektet på Runde. Henjesand har derfor en oversikt over hvor aktørene står og hva utfordringene var. Geir Arne Solheim har vært en frontfigur for utviklingen av bølgekraftnæringen, og har lykkes med å få med seg økonomiske midler i form av støtteordninger og fra næringslivet.

Sigve Næss fra kraftselskapet BKK sier at selskapet er åpen for ny teknologi, men når det kommer til støtteordninger vil de at all støtte skal være teknologinøytral. Det at den er teknologinøytral, vil si at støtten til en fornybar energikilde er like stor som støtten til en annen. Der han sier følgende:

Vannkraft bør utgangspunktet får lik støtte som for eksempel bølgekraft prosjekter. Så hadde det kommet en veldig bra løsning på bølgekraft, så tror jeg det også hadde kommet i BKK.

For at et prosjekt skal få finansiering krever det både en god ide og en gjennomføringsevne. Det er en høy risikofaktor, og det kreves mye for at man lykkes. Geir Arne Solheim mener at det er et nåløye der Innovasjon Norge har bidratt med økonomiske midler. Dersom man får finansiering må man ha skaffet egenkapital og partnere som er villig til å investere. Solheim sier følgende” hvorfor kjempe med å skrive en søknad, når du helst har lyst til å stikke ut og

teste og styre på". Det er noe som heter S=IG (suksess= ide *gjennomføringsevne). Dersom du skal lykkes med et prosjekt må du hovedsakelig ha en god ide og en god nok gjennomføringsevne. Geir Arne Solheim var nøye på at idé talte mest og gjennomføringsevnen var noe som kunne komme med tiden. Ideen er det som vinner over investorer og støtte.

Solheim påstår at store selskaper også søker støtte fra Innovasjon Norge, til tross for at de sitter med milliarder på bok. Han hevder dette kan føre til at pengene går til store aksjeselskap og ikke til en grunder med en god idé. Rune Henjesand kan støtte denne påstanden og har opplyst oss om samme situasjon. Henjesand sier også at alle bedrifter blir behandlet likt, så lenge de oppfylle visse krav. Dette vil være et problem for gründere som er avhengig av økonomisk støtte for å lykkes. Det holder ikke med en god ide, dersom man ikke har finansiering til å realisere den. Finansiering kan oppnås ved investeringer fra næringslivet, men også gjennom politisk satsing i form av støtteordninger. Uansett så påvirker politikken teknologiutviklingen betraktelig, og sette rammer for fremtidig utbygging. Resultatene vi har fått i forbindelse med politikken er sammenfattet i neste underkapittel.

6.4 Politikken for utviklingen

Politikk er et viktig virkemiddel i utviklingen av fremtidens energiteknologier og setter rammer for finansiering av den. Som nevnt så har Norge flere støtteordninger på plass som muliggjør teknologiutviklingen.

Solheim nevner at bølgekraft skal være et satsingsområde ifølge regjeringserklæringen. Her har statsminister Erna Solberg vist interesse i Havkraft AS sin løsning og har blant annet vært på visitt i Raudeberg for å lære mer om bølgekraftindustrien og Havkraft AS. Også Kong Harald V har vist interesse for bølgekraft, der han har besøkt bølgekraftverket på Fosna som Pelagic Power AS har utviklet. Dessverre så havarete bølgekraftstasjonen i etterkant.

Kongen opptrer ikke politisk, han er tvert imot nøytral. Han kan derimot har stor påvirkning på det norske folket og dermed fremme et grønt skifte på denne måten.

Men hvilket ståsted har partiene i forhold til bølgekraft? Solheim sitt inntrykk er at det er ingen som er imot bølgekraft. Venstresiden av politikken er mest opptatt av klimaeffekten der kostnader er andre prioritet, mens Frp og høyre er mer opptatt av industripotensiale og hva vi skal leve av. Partienes ulike politiske syn er med på å avgjøre om det blir satset på en grønn og bærekraftig næring. Hva skal i så fall bli satset på? Solheim sier følgende:

Vi skal levere miljøteknologi og det betyr noe utad, slik at vi kan selge norsk miljøteknologi og hjelpe andre plasser. Som har like mye effekt, men det betyr at vi kan fortsette med ren oljeproduksjon der vi forlenger oljen, og vi kan gjøre noe for totalen slik at vi klarer Paris-avtalen.

7. Drøfting

I dette kapitlet skal vi drøfte problemstillingen vår ved å sammenligne resultatene fra intervjuene med litteratur fra kunnskapsstatus. Ut ifra dette vil vi trekke konklusjoner på problemstillingen vår.

Problemstilling:

Hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge?

Oppsummert i følgende underproblemstillinger:

Hva er utfordringene knyttet til etablering av bølgekraft i Norge?

Hva er kriteriene for at bølgekraft skal kunne lykkes i det norske markedet?

Hvor stor innflytelse har markedet i Norge på bølgekraftutviklingen?

7.1 Etablering av bølgekraftverk i Norge

Bølgeenergi kan mulig brukes til å produsere energi til en stor del av verdensbefolkningen. Her vil hovedsakelig kystregioner kunne utnytte denne ressursen effektivt. Vi har gjennom litteraturstudiet funnet ut at potensialet for bølgekraft er enormt enkelte plasser. Land som har tilgang til hav med gode hydrodynamiske egenskaper, altså tilgang til Atlanterhavet eller Stillehavet har større potensial enn land knyttet til mindre hav (Middelhavet, Svartehavet osv.). Spesielt havområder på den sørlige halvkulen fremstår som ideelt for kraftutbygging og har et større potensial enn hav lokalisert på den nordlige halvkulen. På papiret kan bølgekraft se ut som en mektig energiresurs med et energipotensial på 25 000-80 000 TWh. Men i realiteten er det svært vanskelig å utnytte bølgeenergien. I løpet av oppgaven fant vi ut at det er flere utfordringer knyttet til bølgekraft og at det som teoretisk kan utvinnes er langt mindre enn potensialet. Teoretisk er bølgekraft også en bærekraftig energikilde med høy energitetthet og tilgjengelighet. Men det å ta inn energien effektivt og i tillegg har en god økonomisk avkastning fremstår som utfordrende med dagens teknologi. Dette har vi fått bekreftet både under intervjuene og litteraturstudiet. I løpet av oppgaven har vi utforsket eksisterende

litteratur og hørt synspunktene fra forskjellige aktører innen bølgekraft. De fleste så for seg en dyster fremtid for bølgekraft og pekte på den tradisjonelle vann -og vindkraften, samt noen av de "nye" fornybare energier, som fremtidige energikilder. Litteraturen fremsto som relativ nøytral og belyste både de positive og negative sider ved bølgekraft som energiteknologi. Kommentarene vi har fått fra de fleste respondentene hadde en pessimistisk undertone. Vi er usikker på om kommentarene kom fra et personlig ståsted eller representerte en overordnet mening, uansett, hva kan være årsaken til denne pessimismen?

Det som var gjennomgående i litteraturen, og som også har blitt nevnt under intervjuene er de økonomiske og teknologiske utfordringene knyttet til bølgekraft. Det finnes kriterier som må bli oppfylt for at bølgekraft skal fremstå som lønnsomt og dermed lykkes på markedet. Hva er disse kriteriene? Utbygging av kraftindustrien er avhengig av dens lønnsomhet. Energi- etterspørselen og kostnader/inntekter spiller en stor rolle for at teknologien skal kunne utvikle seg. Vi fikk gjennom intervjuene bekreftet at en profitabel energiteknologi fremstår som langt mer attraktiv for utbygging og videre satsing. Dette er derimot ikke tilfellet for bølgekraft. Grunnen til det er at bølgekraft foreløpig er dyrt å installere, vedlikeholde og drifte. Dette gjør at kapitalutgiftene, som tidligere omtalt i oppgaven, knyttet til vedlikehold og drift er 2-3% større enn hos offshore vindkraft. Dette og teknologiens uforutsigbarhet gjør det utfordrende å bedømme den økonomiske risikoen, noe som kan være grunnen til at mange viser seg pessimistisk til bølgekraft. I tillegg har dagens teknologier flere utfordringer som må løses. Noen av disse utfordringene kan også medføre en økning i den økonomiske risikoen. Havarering, erodering av utstyret, geografiske utfordringer (vær, topografi) fremstår som spesielt økonomisk krevende. Også tilkoblingen av kraftstasjonen til kraftnettet er dyrt og komplisert, siden de fleste anlegg vil være liggende langt ute på sjøen. Oppsummert må bølgekraft bli mer lønnsomt økonomisk og bedre utviklet teknologisk for å lykkes på kraftmarkedet.

Gjennom innovative løsninger har vi muligheten til å oppfylle kriteriene og løse utfordringene. Mange bølgekraftstasjoner er bygd i aluminium og andre tungtveiende metaller, men hva om vi hadde brukt kompositt som byggemateriale? Kompositt kan være en blanding av polymerplast og andre materialer for å utnytte deres forskjellige egenskaper. Dette ville mest sannsynlig vært en fordel i forhold til aluminium. Plast har en lang levetid og er så å si vedlikeholdsfritt og ikke minst mindre mottakelig mot erosjon. Vi kan også løse mange av utfordringene i forbindelse med plassering på havet om vi hadde satt kraftstasjonen på land, men da måtte vi ha en løsning klar som gir oss samme effektivitet på land som på

havet. Dette ville også løst utfordringene knyttet til installasjon, drift og vedlikehold, følgelig gjør det enklere og ikke minst billigere å gjennomføre operasjonene. Bølgekraft må kunne konkurrere med de andre fornybare energikilder for å fremstå som profitabelt og attraktivt for investorer. Dette kan oppnås ved å endre på noen av parameterne og videre løse utfordringene nevnt i kunnskapsstatus.

Som vi har vært inne på har økonomisk lønnsomhet mye å si for at en energiteknologi skal kunne videreutvikle seg. Bølgekraft må kunne fremstå som profitabel, men for at bølgekraft skal kunne etablere seg trengs det mer enn bare en god økonomisk avkastning. Det er også utfordringer knyttet til selve bølgeenergien som må bli løst. Bølgeenergi er en varierende energiressurs og er derfor vanskelig å ta opp. I tillegg er mye av norske kysten preget av ekstremvær. De geografiske begrensningene er overkommelig, men krever riktig dimensjonering for å unngå skade og slitasje. Skal kraftstasjonene kunne overleve uten stor slitasje og skade må de være dimensjonert slik at vær og vind ikke skal være et hinder for en gunstig energiutvinning, eller påvirke prosjektets lønnsomhet. Mulighetene for å unngå overdimensjonering eller videre komplisere teknologien ses i sammenheng med anleggets plassering. Havet rommer et enormt areal, og bølgekraftaktører vil ha gode muligheter til å plassere kraftstasjonene slik mulige hinder unngås.

For å løse utfordringene knyttet til bølgenes variasjon, kan et integrert system/sensor implementeres for å utnytte bølgeenergi ressursen mer effektivt. Den bør fremstå som selvlerende og forstår bølgebevegelsene, i tillegg til å kunne fjernstyres. Dermed ville vi unngår unødvendig vedlikehold og etterjustering. Dette ville selvfølgelig være mindre nødvendig om vi hadde plassert mye av kraftstasjonen på land.

7.2 Dagens situasjon for bølgekraft

Bølgekraft står overfor mange utfordringer. Selv om disse utfordringene fremstår som vanskelig å løse, har næringen aldri vært større enn i dag. Flere små og store prosjekter har funnet veien til pilotfasen, og videre kommersielt bruk. Støtteordninger og andre finansielle midler er på plass for å gi støtte til prosjekter av ulikt omfang. Politikken arbeider for et grønt skifte og vil fremme et bærekraftig samfunn med innovative energiløsninger. Stadig flere kommer opp med nye løsninger og design som omgår eller løser mange av utfordringene. Alt tyder på ideelle forhold for utbygging av bølgekraft, men hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge? Vi er klar over at

potensialet for energi i form av bølger er enormt, men dette potensialet vil ikke kunne utnyttes ved hjelp av de nåværende bølgeteknologiene. Teknologien er enda for risikabelt økonomisk, og generelt for uforutsigbar som vi har vært inne på i kunnskapsstatus og kapittel 7.1. I dag har vi flere gründere som har gode ideer og som er optimistisk mot fremtiden. Noe de ikke regner med er at de som sitter med den nødvendige kapitalen ikke er like optimistiske, og at investeringene uteblir. Vindkraft, solenergi, og vannkraft fremstår som mer profitabel i motsetning til bølgekraft. Knytter man dette opp med de andre utfordringene bølgekraft står overfor, har vi en teknologi med alt for lite lønnsomhet, i motsetning til alt for store utfordringer. De fleste av respondentene vi intervjuet har stilt seg pessimistisk til bølgekraft som energiteknologi. De fleste hadde ikke investert fra et personlig standpunkt, og istedenfor brukt penger på den mer pålitelige vindkraften.

Bare noen få gründere har klart å komme seg på markedet. Blant disse har vi Havkraft AS som prakt eksempel. Havkraft AS hevder at de har løst mange av utfordringene knyttet til bølgekraft ved å ta i bruk innovative løsninger. Dette har ført til at mange har investert i deres idé, og Havkraft AS kan være klar til å etablere seg på kraftmarkedet innen kort tid. Ideen av å kunne levere energi i stort omfang ble derimot midlertidig satt på vent. Istedenfor å fokusere på å utvikle en løsning som kan konkurrere med de store energiteknologiene har Havkraft AS nå begynt å levere energiløsninger til oppdrettsanlegg for å erstatte diesellaggregat. Dette skyldes blant annet konkurransen på kraftmarkedet i form av vind -og vannkraft som enda er billigere, men mer arealkrevende og kan derfor ikke brukes like effektivt for oppdrettsanlegg. Grunnleggeren og administrerende direktør Geir Arne Solheim er derimot optimistisk på at bølgekraft vil bli en av verdens store energikilder i fremtiden. Skal dagens bølgekraftteknologi utvikle seg i retning primær energikilde eller ligger fremtiden i en annen sektor? Det finnes et par millioner diesellaggregat som kan erstattes. Er dette en nisje for bølgekraft å få fotfeste i? Aktører i Norge kan også opparbeide seg til å bli leverandører av energiløsninger i form av bølgekraft for øysamfunn eller videreutvikle energiteknologier i form av hybridløsninger.

Men for at bølgekraft skal utvikle seg trengs det mer enn bare optimisme. Det trengs først og fremst gode ideer. I løpet av oppgaven har vi fått klare trekk på at ideen fremstår som viktigst og avgjør om prosjektet får støtte og investorer. Om ideen løser noen av utfordringene i tillegg til å fungere, er det ingenting som hindrer næringslivet i å investere. Bølgekraft industrien slite med å være nytenkende og kreativ. Design er som oftest en variasjon av en grunnteknologi, som punktabsorbatorer eller kilerennekraftverk. Nye design gjør det ikke

verre, men heller ikke bedre enn forrige design. Bare noen få konsepter skiller seg ut og tar for seg noen av utfordringene bølgekraft står overfor i dag.

Når man skal se på utfordringene og barrierene med å starte opp en bølgeteknologi, har vi sett hvordan disse potensielt kan løses eller forenkles. Viktigheten av denne oppgaven er å finne ut hvorfor bølgekraft ikke er mer aktuelt i Norge. For å komme nærmere et svar er det naturlig å se på H-WEC prosjektet til Havkraft AS, og se hva de har gjort for å lykkes. Havkraft AS er som nevnt i oppgaven den ledende bølgeaktøren i Norge, i tillegg til Norges eneste kommersielle bølgekraftbedrift. Av alle som driver med bølgekraft i Norge, så er det bare Havkraft som er nærmest en avklaring rundt teknologien i dag. Hva har Geir Arne Solheim sett på som andre ikke har? Og har han løst utfordringene?

Utfordringene med å etablere en bølgeteknologi er som vi vet mange og sammensatte. Skal man nevne noen av disse kan vi begynne med å se på hvordan Havkraft AS løste utfordringen knyttet til forankringen. H-WEC systemet ble testet ut i over 4000 timer under en tre måneders periode. Etter denne testperioden bar systemet ikke preg av skader eller slitasje. Normalt sett vil forankringsproblemet under en testperiode være årsaken til nedsatt effekt og havarering. Havarering i seg selv er en hovedgrunn til økonomisk kollaps av et prosjekt. Dette så vi på MS Havkraft prosjektet, der H-WEC systemet ble integrert i baugen på MS Havkraft. Her kunne Havkraft AS kjøre en testperiode uten store kostnader knyttet til plassering eller drift av anlegg, ved hjelp av en gammel fisketråle. Dette i seg selv gjør at et bølgekraftprosjekt kan spare penger i testperioden, og kan derfor investere pengene sine i videre utvikling.

Videre kan det diskuteres om prosjektets relabilitet knyttet til testperioden gir et grunnlag til å konkludere om systemet har den robustheten som kreves for å overleve i havmiljøet. Dette er på grunn av at testperioden "bare" varte i 3 måneder (4000 timer). Her vet vi ikke om systemet hadde opplevd større påkjenninger om den hadde blitt satt i drift i et eller to år.

Videre er det som er blitt observert gjennom utarbeiding av tabell 1 at mange av de samme teknologiene går igjen hos de forskjellige aktørene. Det er spesielt et stort antall som baserer sin teknologi på grunnteknologiene bøyer og punktabsorbatorer. Problemet med for eksempel en bøye er at disse har to grunnleggende utfordringer. Det ene er at forankringen ved systemet kan ryke ved for høye bølger. Den andre er at bøyen automatisk vil plassere seg på bølgene slik energiopptaket ikke blir optimalt. Det vil si at bøyen ligger vinklet mot en retning der

kreftene tar den, og bølgene vil derfor ikke treffe slik at optimalt vekselvirket blir utnyttet. Dette baserer seg på det som ble nevnt av Geir Arne Solheim, hvor han konstaterte med at du skal jobbe med naturens prinsipper, og ikke imot dem. Derfor vil vi på grunnlag av dette kunne si at ved en vellykket bølgekraftutvikling, så må du våge å gå din egen vei. Dette har Havkraft AS delvis gjort, der de har utviklet en teknologi på rette premisser og vilkår. Her har naturens prinsipper vært i fokus, i tillegg til at utformingen har blitt gjennomført så enkelt som mulig. Vi føler at bølgekraftaktører som står fast eller har mislykkes, allerede har sett på teknologier som ikke fungerer, og videre har valgt å fokusere på feil område i utviklingen. Det vil være en god kombinasjon å se på tidligere prosjekter der du ser på hva som gikk galt, og hva som eventuelt var bra. Du kan ta med disse observasjoner og bruke de under ditt eget arbeid. Herfra unngår du å havne i den sammen fellen som de andre bølgekraftaktørene, i tillegg til at du kan ta med deg de positive aspektene.

7.3 Kraftmarkedet for fornybar energi

Hvorfor er bølgekraft ikke mer aktuelt i Norge i dag? For å svare på dette spørsmålet er det naturlig å se på teknologiene de andre fornybare energikildene vi har. Vi kan også se på bølgekraftteknologiene i forhold til andre fornybare energiteknologier. Vi har allerede diskutert fordelene og ulempene med noen av teknologiene innen bølgekraft, i tillegg til andre fornybare energiteknologier bølgekraft konkurrerer mot. Vi vet at den allerede etablerte vannkraften er tilgjengelig til en lav pris med en virkningsgrad på 95%. Etter dette kommer vindkraft som blir sett på som fremtidens energikilde, men som bærer med seg ulike utfordringer. I tillegg har mange av respondentene nevnt solenergi som en god kandidat for fremtidig utbygging, men ikke i Norge. Fra et teknologisk perspektiv, hva er det som skiller disse fornybare energikildene fra hverandre?

Ser vi på vannkraft så har denne energikilden en enkel teknologi der turbinene roteres av vanntrykk. Denne teknologien ble ferdig utviklet for mange tiår siden der effektiviteten fra oppstart har ligget på 90-95%. Noe mer enn dette er mer eller mindre uoppnåelig for andre fornybare energikilder. I tillegg har vindkraft gjort rede for maksimalt utbytte av en vindturbin. Ved hjelp at Betz Law (Limit) har det blitt bevist at det ikke er mulig å få mer enn 59.3% virkningsgrad på et vindkraftverk. Solceller er derimot mer komplisert og har ulike teknologier, men alle har samme hovedfaktor som spiller inn for virkningsgraden.

Poenget med å sammenligne disse energikildene ut ifra et teknologisk ståsted er at vi ønsker å synliggjøre bølgekraftens store utfordringer i forhold til de andre fornybare energikildene. Her

tar vi til betraktning at alle ressursene er kostbare og har med seg ulike miljøpåvirkninger. Bølgekraft står overfor utfordringer knyttet til bølgefrequens, bølgestyrke, vær og eroderende krefter som i seg selv er veldig utfordrende på jakt etter den optimale teknologi. Med vannkraft så har det i over 100 år vært relativt enkelt. Bygg et anlegg og la vannstrømmen treffe gitte punkt på turbinen, etter dette har du en regulerbar energiressurs. En turbin i et vannkraftanlegg kan være i drift i mer enn 80 år, uten å miste effekt. Selv om det er dyrt å bygge et vannkraftanlegg så har den en lang levetid og vedlikeholdskostnader som er såpass lave at et vannkraftprosjekt vil fremstå som mest profitabel i dag. Derfor mener vi at bølgekraft burde se på samme mulighetene som vannkraft. Der teknologiene baserer seg på lite vedlikehold, der de er bygget opp så enkelt som mulig med materialer av stor sliteevne og kanskje drives på land.

Med andre ord så kan levetiden og robustheten være nøkkelen til et lønnsomt prosjekt, der et bølgekraftanlegg vil kunne drive seg selv uten store vedlikeholdskostnader eller videre slitasje av anlegget. Dette gjør at bølgekraftanlegget vil kunne produsere mer energi på grunn av økt produksjonstid. Da må vi også ta i betraktning at effekten er tilstrekkelig for å kunne fremstå profitabel for prosjektet.

8. Konklusjon

Klimaskiftet vi står overfor er en økende trussel for kloden vår, og krever at vi legger om fra fossile energikilder til fornybare. Oppgaven tar for seg bølgekraft som er en lovende teknologi, der potensialet for energiutnyttelse er stor. Med bakgrunn i dette kom vi frem til følgende problemstilling; hvorfor har ikke utbyggingspotensialet for bølgekraft hatt en større utvikling i Norge?

Det å utnytte energien i bølgene er en komplisert prosess, der mange faktorer må falle på plass dersom man skal lykkes. Den største utfordringen med bølgekraftanlegg per i dag er at de er kostbare og at teknologien ikke er tilstrekkelig/god nok når det kommer til lønnsom produksjon av energi. I forbindelse med oppgaven har vi vært i kontakt med flere forskere der alle stilte seg skeptisk til bølgekraft. Geir Arne Solheim som har lykket med H-WEC systemet sitt, var derimot optimistisk. Systemet hans klarte å tåle ekstremvær av høyest mulig kategori og fremsto som robust igjennom hele testfasen. Likevel er robusthet ikke den eneste faktoren som spiller inn for at et prosjekt skal lykkes. Den er også avhengig av finansielle midler i form av statlige støtteordninger og investeringer fra næringslivet. I Intervjuet med Geir Arne Solheim, Rune Henjesand og Sigve Næss kom det frem at det viktigste for å lykkes

er å ha en god ide. En god ide er første steget til suksess og skaffer deg finansiering til videre utvikling. Dette ble delvis bekreftet i litteraturstudiet. Støtteordninger sånn som Innovasjon Norge se spesielt på selve ideen og om den fungerer, før de eventuelt vurderer å gi støtte. Videre nevne Geir Arne Solheim at gjennomføringsevnen ikke bør prioriteres, da den ikke er av noe nytte dersom ideen ikke er god nok.

I løpet av oppgaveprosessen har vi derfor fått inntrykk av at det ikke er et utbyggingspotensial for bølgekraft i Norge, i hvert fall ikke som primær energikilde. Det er mange gode ideer i Norge og ellers i verden, men det satses heller på de allerede etablerte “nye” energikildene. Derimot ser vi på grunnlag av observasjonene våre at Norge kan være et land som bidrar med teknologiutvikling andre steder i verden, i form av leveranse av mekaniske deler, design og ulike løsninger. En annen sektor som blir nevnt til å ha fremtidig utbyggingspotensiale er lokal energiforsyning og hybrid løsninger. Bølgekraftteknologi i lag med vindkraft kan være veien å gå, for å holde interessen for bølgekraft og utviklingen av teknologien gående. Lokal energiforsyning, eksempelvis for øysamfunn kan være et nåløye for bølgekraft. Dersom det skal utbygges bølgekraft i Norge, kreves det forskning og utvikling av teknologien og et marked som kan forsynes.

9. Referanser

Amir Vosough (2014), *Wave energy*, hentet fra

<http://www.ijmse.org/Volume2/Issue7/paper12.pdf?fbclid=IwAR2SGO6AKILU53aYx3aCiosROaCVqmNFPeU7vR4l-1uFuSmlzaITZFuFjF8>

Johannes Falnes (2005). Hentet fra <http://folk.ntnu.no/falnes/teach/TEP4175bylgje/waveenergy2005-02www.pdf>

António F. O. Falcão (2014). *Modelling of Wave Energy Conversion*, hentet fra

<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/3779580606646/Chapter%25201%25282014%2529.pdf>

Arntzen, E., Tolsby, J. (2010). *Studenten som forsker i utdanning og yrke, Vitenskapelig tenkning og metodebruk* (revisjon av første utgave). Høgskolen i Akershus, HiAk.

Athanasios Kolios, Loris Francesco Di Maio, Lin Wang, Lin Cui, Qihu Sheng (2018), *Ocean Engineering, Reliability assessment of point-absorber wave energy converters*, Hentet fra

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0029801818309089?token=4FD7D94EE9BDA776E979C0CA9921E6103D74E4DC56578C62498AD61C28BBE524AF642306F94B48D9875CFE5DB6A0EDC2>

Barthel, Knut & Weber, Jan Erik & Sælen, Odd Henrik (2018, 14. september). havbølger. I Store norske leksikon. Hentet 11. Mars 2019 fra <https://snl.no/havb%C3%B8lger>

Bergillos R.J, Lopez-Ruiz A., Medina Lopez E, Monino A., Ortega-Sanchez M. (2017). The role of wave energy converter farms on coastal protection in eroding deltas, Guadalfeo, southern Spain. *Journal of Cleaner Production*. 2018 (171). 356-367. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.018>

Clement, A., McCullen, P., Falcao, A., Fiorentino, A., Gradner, F., Hammarlund, K,... Thorpe, T. (2002). Wave energy in Europe: current status and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 6(5). s. 405-431.

[https://doi.org/10.1016/S1364-0321\(02\)00009-6](https://doi.org/10.1016/S1364-0321(02)00009-6)

Curtis J. Rusch, Daniel R. Green, Derek S. Sager, Jared D. McGarry, Jonathan T. Morasch, Joseph A. Downs (2015), *Dynamics of a Point Absorber Wave Energy Converter*, hentet fra

http://depts.washington.edu/pmec/docs/ME495_2015_SpringReport.pdf

Dag Myrhaug & Bjørnar Pettersen, *Havrommet og havmiljøet* (2011, 20. desember), havbruksteknologi, hentet fra <https://www.ntnu.no/documents/14574940/9ae7dd7b-0d97-4f31-9d19-b7b1c3d59513>

De Nasjonale Forskningsetiske Komiteene. (2010, 15.Januar). Kvalitative og kvantitative forskningsmetoder - likheter og forskjeller. Hentet fra <https://www.etikkom.no/forskningsetiske-retningslinjer/medisin-og-helse/kvalitativ-forskning/1-kvalitative-og-kvantitative-forskningsmetoder--likheter-og-forskjeller/>

Det kongelige olje og energidepartementet. (2016). *Kraft til endring, Energipolitikken mot 2030* (meld.st.25 2015-2016). Hentet fra

<https://www.regjeringen.no/contentassets/31249efa2ca6425cab08130b35ebb997/no/pdfs/stm201520160025000ddpdfs.pdf>

Eco Wave Power. (2018). Environmental Impact. Hentet fra: <https://www.ecowavepower.com/environmental-impact/>

Enova. (u.å). Mål. Hentet fra <https://www.enova.no/om-enova/om-organisasjonen/mal/>

Enova. (u.å). Om Enova. Hentet fra <https://www.enova.no/om-enova/>

Europakommisjonen. (2021). *Revidert Fornybardirektiv*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/no/sub/eos-notatbasen/notatene/2017/mars/revdert-fornybardirektiv/id2542890/>

Falnes, J & Lillebekken, P.M. (12.07.2018). Bølgeenergiforskning ved NTH/NTNU. Hentet fra http://folk.ntnu.no/falnes/w_e/

Finansiert og utgitt av norsk forskningsråd i samarbeid med NVE (november 2011), *Nye fornybare energikilder*, hentet fra <https://www.forskningsradet.no/om-forskningsradet/publikasjoner/2001/nye-fornybare-energikilder/>

FN-sambandet. (2018, 10.oktober). Parisavtalen. Hentet fra <https://www.fn.no/Om-FN/Avtaler/Miljoe-og-klima/Parisavtalen>

Giovanna Bevilacqua & Barbara Zanuttigh. (2011). *Overtopping Wave Energy Converters: general aspects and stage of development*

Godfrey Boyle (2012), *Renewable energy, Power for a sustainable future* (3. utg), Oxford university press.

Havenergisenteret. (2017, 3.februar). Bølgekraft i Norge. Hentet fra <http://www.havenergisenteret.no/om-havenergi/bolgekraft/>

Havkraft AS. (u.å). Om Havkraft AS og teknologien. Hentet fra <http://www.havkraft.no/#technology>

Helmut Ormestad (2018), Bølger, store norske leksikon, hentet fra <https://snl.no/b%C3%B8lge>

Ung energi (2018), Hentet fra <http://ungenergi.no/energikilder/hav-og-vannkraft/bolgeenergi/>

Marinet (2014). *Aker WEC prototype model test*. Hentet fra http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WEC_PTO_modeltest_UNI-STRATH-1.pdf?fbclid=IwAR0abLq1rh-uFirIkmUblMGZxS8vNoSO_IOnr9k7Oby24jaP4qseZtcm5Dw.

Ingvald Straume. (2014, 4.april). Bølgekraft/Bølgekraftens grunnleggende utfordringer. Hentet fra https://no.wikibooks.org/wiki/Bølgekraft/Bølgekraftens_grunnleggende_utfordringer

Innovasjon Norge. (2018, 9.april). Kort om oss. Hentet fra <https://www.innovasjonnorge.no/no/om/hva-vi-gjor/kort-om-oss/>

Innovasjon Norge. (2019). Tildelinger. Hentet fra <https://www.innovasjonnorge.no/no/om/organisering-og-tall/hvem-har-fatt-finansiering-fra-oss2/>

Johansen, Øystein Kock (2010). *Energi, Livets fundament og sivilisasjonens grunnlag*. Oslo: Kagge Forlag

Miljødirektoratet. (2017, 9. mai). Kyotoprotokollen. Hentet fra <https://www.miljostatus.no/tema/klima/internasjonalt-og-utvikling/kyotoprotokollen>

Mørk, G et.al. (2010, Juni) *Assessing the global wave energy potential*. 29th International Conference on Ocean, Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Shanghai, China. Sammendrag hentet fra:

<https://www.researchgate.net/publication/274069267> *Assessing the Global Wave Energy Potential*

Regjeringen. (2014, 8.Desember). *Fornybar energiproduksjon i Norge*. Hentet fra

<https://www.regjeringen.no/no/tema/energi/fornybar-energi/fornybar-energi-produksjon-i-norge/id2343462/>

Röbken, Prof. Dr. & Wetzel. (2016). *Qualitative und quantitative Forschungsmethoden* (2 utg.). Carl von Ossietzky Universität Oldenburg. Carl von Ossietzky Universität Oldenburg - Center für lebenslanges Lernen C3L

Salter, S.H. (1974). Wave Power. *Nature*. Vol 249. s. 720-724

The European marine energy centre LTD. (2017, 3. Februar). Wave developers. Hentet fra

<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-developers/>

The European Marine Energy Centre LTD. (u.å) Wave developers. Hentet fra

<http://www.emec.org.uk/marine-energy/wave-developers/>

Thorpe T.W. (1999). A brief review of Wave energy (ETSU-R120). Hentet fra

<http://www.homepages.ed.ac.uk/shs/Wave%20Energy/Tom%20Thorpe%20report.pdf>

TU. (2014, 24. August). *Denne gamle fisketråleren huser et bølgekraftverk*. Hentet fra

<https://www.tu.no/artikler/denne-gamle-fisketråleren-huser-et-bolgekraftverk/230090>

Uihlein, A. Magagna, D. (2016). Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 58. s. 1070-1081.

<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.284>

Voelcker, J. (2014, 24. Juli). 1.2 billion Vehicles on Worlds Roads Now, 2 billion by 2035: Report. Hentet fra

https://www2.greencarreports.com/news/1093560_1-2-billion-vehicles-on-worlds-roads-now-2-billion-by-2035-report

Waves4Power. (u.å) Historien om WFP. Hentet fra

<https://www.waves4power.com/history/>

Waves4Power. (u.å) WF4 prosjekter. Hentet fra

<https://www.waves4power.com/projects/>

Figur og bilder

Figur 1: Signifikant bølgehøyde på verdensbasis (Kilde: <https://www.oceanweather.com/data/>)

Figur 2: Bølgeparametere (kilde: www.azocleantech.com)

Figur 3: Bølgekraftverket til Bochaux-Praceique (kilde: <http://wavepowerlab.weebly.com/blog/category/history>)

Bilde 1: Kaimei bølgekraftverk (kilde: https://www.researchgate.net/figure/The-Kaimei_fig3_281307478)

Figur 4: Salters Ducks (kilde: <https://www.azocleantech.com/article.aspx?ArticleID=227>)

Bilde 2: Punktabsorbator-bøye (Waves4Power Punktabsorbator-bøye Waves4Power (Kilde: <http://wavepowerlab.weebly.com/blog/category/history>)

Bilde 3: Linjeabsorbatoren til Aker Solutions (kilde: http://www.marinet2.eu/wp-content/uploads/2017/04/WEC_PTO_modeltest_UNI-STRATH-1.pdf?fbclid=IwAR2IIm02ebhJ9rNMldCEMLyyiC2hIQVKeLiZ9X5uNSreaNNs xkzcdS0qnck).

Figur 5: Kilerennekraftverk (kilde: https://www.researchgate.net/figure/Principle-of-operation-of-Tapchan-overtopping-device_fig12_262116355)

Figur 6: Svingende vannsøyle (kilde: <http://energysourcespd3.weebly.com/wave.html#/>)

Figur 7: Nave C.R, Progression of wave (Kilde: <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu>)

Figur 8: Slak forankring til venstre og en stram forankring til høyre (Kilde: https://no.wikibooks.org/wiki/B%C3%B8lgekraft/B%C3%B8lgekraftens_grunnleggende utfordringer)

Vedlegg

Vedlegg 1: Intervjuguide Rune Henjesand (Innovasjon Norge).

Vedlegg 2: Intervjuguide Geir Arne Solheim (Havkraft AS).

Vedlegg 3: Intervjuguide Marin teknikk Sverre Steen (NTNU).

Vedlegg 4: Intervjuguide Karl Kaasen (SINTEF).

Vedlegg 5: Intervjuguide Ivar Fylling (SINTEF).

Vedlegg 6: Intervjuobjekter

Vedlegg 1: Rune Henjesand (Innovasjon Norge)

Fase 1 Informasjon om respondenten	Erfaringer <ul style="list-style-type: none">- Fortell litt om deg selv (utdanning, rolle hos IN)- Har du erfaringer med bølgekraft her i Norge? Enten fra IN, tidligere arbeid eller generell innsikt?
Fase 2 Økonomi	<ul style="list-style-type: none">- Hvilke vurderinger gjør dere når det skal gis støtte til et bølgekraftprosjekt? (Spesielle kriterier?)- Hvordan opplever du den økonomiske lønnsomheten av bølgekraftverk her i Norge?- Dere i IN har støttet mange bølgekraftprosjekter. Opplever dere at deres bidrag har vært forskjellen på videre drift eller satsning?

<p>Politiske spørsmål</p>	<ul style="list-style-type: none"> - I hvor stor grad påvirker en regjering eller politikere bølgekraftutviklingen i Norge? - Er det politiske barrierer for bølgekraftutviklingen i dag?
<p>Teknologi</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Det finnes mange teknologier innen bølgekraft. Hvorfor tror du så få av disse når frem til markedsbruk? - Anser du bølgekraft teknologiene som spennende og konkurransedyktige mtp energiutvinning og effekt? - Hva skal til for at bølgekraftutvinningen blir markedsdyktig?
<p>Marked</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Vil du si at konkurransen fra andre fornybare energikilder er med å stanse utviklingen på bølgekraftnæringen? - Per i dag så er markedet for bølgekraft liten langs norskekysten, men kanskje norskekysten heller passer bedre for teknologiutvikling en kommersielt bruk. Hva tenker du om dette?
<p>Fase 3 Nøkkelspørsmål</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Hvor tror du bølgekraft er om 10 år? - Hvilke tanker har du om bølgekraft som en energiresurs?

	<ul style="list-style-type: none"> - Tror du det kommer det til å bli en økende satsing innen bølgekraft fra norsk aktører?
Fase 4 Oppsummering	<ul style="list-style-type: none"> - Er det noe respondenten vil legge til?

Vedlegg 2: Geir Arne Solheim (Havkraft AS)

Fase 1 Informasjon om respondenten	<p>Hvem er du?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Utdanning - Hvorfor bølgekraft? - Har du erfaring fra andre prosjekter, eller var dette noe helt nytt for deg? - Kan du fortelle litt om det du holde på med nå?
Fase 2 Økonomi	<ul style="list-style-type: none"> - Hva var de største utfordringene med etablering av deres bølgekraft? - Var det vanskelig å få finansiering? - Hvor søkte dere om finansiering? - Hva var den største utfordringen i driftsfasen/installasjonen (rent økonomisk)? - Hvordan er situasjonen per i dag? Private investorer? Statlig interesse? - Hvordan har markedet endret seg i de siste årene? - Til fordel eller til ulempe? - Har bølgekraft opplevd en nedgang i popularitet?
Politikk	<ul style="list-style-type: none"> - Føler dere at den nåværende regjeringen støtte utviklingen av bølgekraft? - Er subsidiene/støtteordningene tilstrekkelig?

	<ul style="list-style-type: none"> - Hva kunne regjeringen/staten gjort bedre?
Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> - Var det vanskelig å utvikle deres egen kraftstasjon? - Hvordan har dere løst disse? - Hvordan skilles deres kraftstasjon fra andre kraftstasjoner som også tar i bruk hydrodynamikken i havet. - Kan du fortelle litt om teknologien du har tatt i bruk, hva er effektgraden, hvordan vurderer dere miljøeffekten osv.
Fase 3 Nøkkelspørsmål	<ul style="list-style-type: none"> - Hvordan tror du bølgekraft næringen vil se ut om 10 år? - Hvilke utfordringer støter dere på? (Design, mekanisk m.m)
Fase 4 Oppsummering	<ul style="list-style-type: none"> - Er det noe respondenten vil legge til?

Vedlegg 3: Intervjuobjekt Marin teknikk Sverre Steen (NTNU).

Introduksjon	<ul style="list-style-type: none"> - Hvem er du og hva er din generelle bakgrunn (utdanning, stilling i marinteknikk)?
Fremtid	<ul style="list-style-type: none"> - Er det fremtid for bølgekraft i Norge og hvilke teknologier skal vi satse på?
	<ul style="list-style-type: none"> - Hvordan skal vi utnytte potensialet i havet på en måte som er bærekraftig og økonomisk lønnsom?
	<ul style="list-style-type: none"> - Har du og marinteknikk erfaring med bølgekraftprosjekter i Norge?

Teknologi	- Bølgekraft er en teknologi i startfasen, er det for lite støtteordninger?
Utvikling	- Har dere i marinteknikk bidratt til utvikling av bølgekraft i Norge og på hvilken måte?
	- Bølgekraft er en varierende energiressurs, ser du noen problemer med dette?
	- Ser du for deg en økende satsing på bølgekraft fra norsk selskaper i fremtiden og i så fall på hvilken måte? - Hva er de største utfordringene med bølgekraft per dags dato?
Utfordringer	- Hva er de største utfordringene med bølgekraft per dags dato?

Vedlegg 4: Intervjuobjekt Karl Kaasen (SINTEF).

Fase 1 introduksjon av respondenten	- Hvem er du og hva er din generelle bakgrunn (utdanning, stilling i SINTEF, jobber)
Økonomi	- SINTEF har store økonomiske midler. På hvilken måte har du/dere bidratt i arbeidet med fornybar energi?
Fase 2 Teknologi	- Er det en fremtid for bølgekraft i Norge og hvilke teknologier bør det satses på?

	<ul style="list-style-type: none"> - Hvordan skal vi utnytte potensialet i havet til fornybar energi på en måte som er bærekraftig og økonomisk lønnsom?
Konkurransen	<ul style="list-style-type: none"> - Hva skal til for at bølgekraft kan konkurrere med andre fornybare energikilder?
Fase 3 Satsning	<ul style="list-style-type: none"> - Ser du for deg en økende satsing på bølgekraft fra norske selskaper i fremtiden og i så fall på hvilken måte? - Har du eller SINTEF erfaring med bølgekraftprosjekter i Norge? (SINTEF OCEAN?) - Har SINTEF bidratt til utvikling av bølgekraft i Norge og i så fall på hvilken måte?
Utfordringer	<ul style="list-style-type: none"> - Hva er de største utfordringene med bølgekraft per dags dato? - Bølgekraft er en energiressurs som gir variabel produksjon, ser du noen problemer med dette?
Fase 4 Oppsummering	<ul style="list-style-type: none"> - Er det noe respondenten vil tilføye?

Vedlegg 5: Intervjuobjekt Ivar Fylling (SINTEF).

Fase 1 introduksjon av respondenten	<ul style="list-style-type: none"> - Hvem er du og hva er din generelle bakgrunn (utdanning, stilling i marinteknikk)?
Fase 2 Økonomi	<ul style="list-style-type: none"> - Hvordan skal vi utnytte potensialet i havet på en måte som er bærekraftig og økonomisk lønnsomt?

Teknologi	<ul style="list-style-type: none"> - Er det fremtid for bølgekraft i Norge og hvilke teknologier skal vi satse på?
Politikk	<ul style="list-style-type: none"> - Bølgekraft er en teknologi i startfasen, er det for lite støtteordninger?
Satsning	<ul style="list-style-type: none"> - Har du og SINTEF erfaring med bølgekraftprosjekter i Norge? - Har dere i SINTEF bidratt til utvikling av bølgekraft i Norge og på hvilken måte?
Utfordringer	<ul style="list-style-type: none"> - Bølgekraft er en varierende energiressurs, ser du noen problemer med dette? - Ser du for deg en økende satsing på bølgekraft for norske selskaper i fremtiden og i så fall på hvilken måte? - Hva er de største utfordringene med bølgekraft per dags dato?
Fase 4	<ul style="list-style-type: none"> - Er det noe respondenten vil tilføye?
Oppsummering	

Vedlegg 6: Intervjuobjeter

Navn:	E-post	Kontaktet av	Intervju	Jobbtittel:	Utdanning:
Sverre Steen	Kontaktet og Spørsmål besvart på E-post	Henning Astrup	x	Instituttleder for marin teknikk NTNU	Doktorgrad i hydrodynamikk

Karl Kaasen	Kontaktet og Spørsmål besvart på E-post	Henning Astrup	x	Seniorforsker SINTEF Ocean	Doktorgrad i teknisk kybernetikk
Ivar fylling	Kontaktet og Spørsmål besvart på E-post	Henning Astrup	x	Seniorforsker SINTEF	Doktorgrad I marin arkitektur og Marin teknologi
Geir Arne Solheim	Kontaktet per E-post	Christopher Faust	Intervjuet personlig ved arbeidstedet	Administrerende direktør	Lærerutdanning: Norsk og Historie
Rune Henjesand	Kontaktet per E-post	Bjørnar Byberg	Intervjuet personlig ved arbeidstedet	Seniorrådgiver i Innovasjon Norge	2-årig Økonomi og administrasjon 1-årig påbygging strategi og ledelse
Sigve Næss	Kontaktet per E-post	Christopher Faust	Intervjuet ved videosamtale	Prosjektleder hos BKK	NTNU Master of science (MSc)/ Sivil Ingeniør